المعهد التقني في النجف الأشرف
قسم تقنيات الاتصالات

سلسلة محاضرات الد وائر الالكترونية

المرحلة الثانية

ELECTRONIC DEVICES AND CIRCUIT

اعداد المهندس
حسن عبد الكاظم بجاي

enghassan65@yahoo.com

أهداف المـــــــادة Performance Objectives

يتعرف الطالب على أجزاء الدوائر الالكترونية المستخدمة في تصميم معظم الأجهزة الالكترونية وأجهزة الاتصالات ودراسة خصائصها وتحليلاتها الرياضية وتطبيقاتها العملية في الدوائر الالكترونية .

المفردات النظريـــــــــــــه Course Syllabus

الاسبوع	التفاصيـــــــــــــــــــــــــــــل
الاول والثاني	مصدر الفولتية المستمرة – المخطط الكتلي – مكوناته - تنظيم الجهد – انواع منظمات الجهـــــــــــــــــــــــــــد
الثالث	تحليل عمل دائرة مكبر الباعث المشترك باستخدام منحنيات خواص الخرج والدخل للترانزستور – رسم خط الحمل للتيار المستمر والمتناوب تحديد نقطة العمل.
الرابع	تحليل وعمل دائرة مكبر الباعث المشترك للإشارة المتناوبة – رسم منحنيات الخواص الانتقالية للمكبر دراسة أنواع { Transfer Function }
الخامس والسادس	دراسة التشويه الحاصل للإشارة المتناوبة لدائرة المكبر . منحنيات الدخل والخرج وطرق تلاقيها. الدائرة المكافئة لمكبر المشترك للإشارة الصغيرة واستخدام المعاملات لحساب AV, AI , AP , RIN , RO , لدائرة المكبر. تأثير الحرارة على نقطة العمل لدائرة مكبر الباعث المشترك– عامل الاستقرار لدائرة الانحياز الذاتي – الثابت – انحياز الجامع – القاعدة
السابع والثامن	تحليل عمل مكبر الجامع المشترك للإشارة الصغيرة – رسم منحنيات الخواص الانتقالية استخراج الكسب ومقاومتي الدخل والخرج. تحليل عمل مكبر القاعدة المشتركة للإشارة الصغيرة – رسم منحنيات الخواص الانتقالية – استخراج الكسب ومقاومتي الدخل والخرج

الأسبوع	التفاصيـــــــــــــــــــــــل
التاسع والعاشر	الدائرة المكافئة للترانزستور في الترددات العالية وحساب قيمة التردد الأعلى والتردد الأدنى –كسب الجهد – دراسة الاستجابة الترددية لدائرة المكبر – حساب تردد القطع
الحادي عشر والثاني عشر	المكبرات متعددة المراحل – حساب كسب المكبر – متعدد المراحل – أنواع الاقتران في دوائر المكبر ودراسة خواص الاقتران على دوائر المكبر. دراسة الاستجابة الترددية للمكبر ولكل نوع من أنواع الاقتران
والثالث عشر	التعريف بوحدة قياس الكسب BD , DB
الرابع عشر والخامس عشر والسادس عشر	تحليل مكبر ترانزستور المجال { FET } باستخدام منحنيات الخواص – تحديد نقطة العمل . دوائر مكبرات المصدر المشترك – المصرف المشترك – البوابة المشتركة – حساب مقاومتي الدخل والخرج والكسب لكل منها – الدائرة المكافئة عند الترددات العالية وحساب تردد القطع العالي { SFB }.
السابع عشر والثامن عشر	مكبرات القدرة أصنافها : مكبر القدرة الصنف A مكبر القدرة الصنف B مكبر الصنف AB مكبر الصنف C. حساب أعلى كفاءة وقدرة التشويه غير الخطي والاعتبارات الحرارية .
التاسع عشر	المكبرات المنغمة { مكبرات الفولت TUNED AMP}

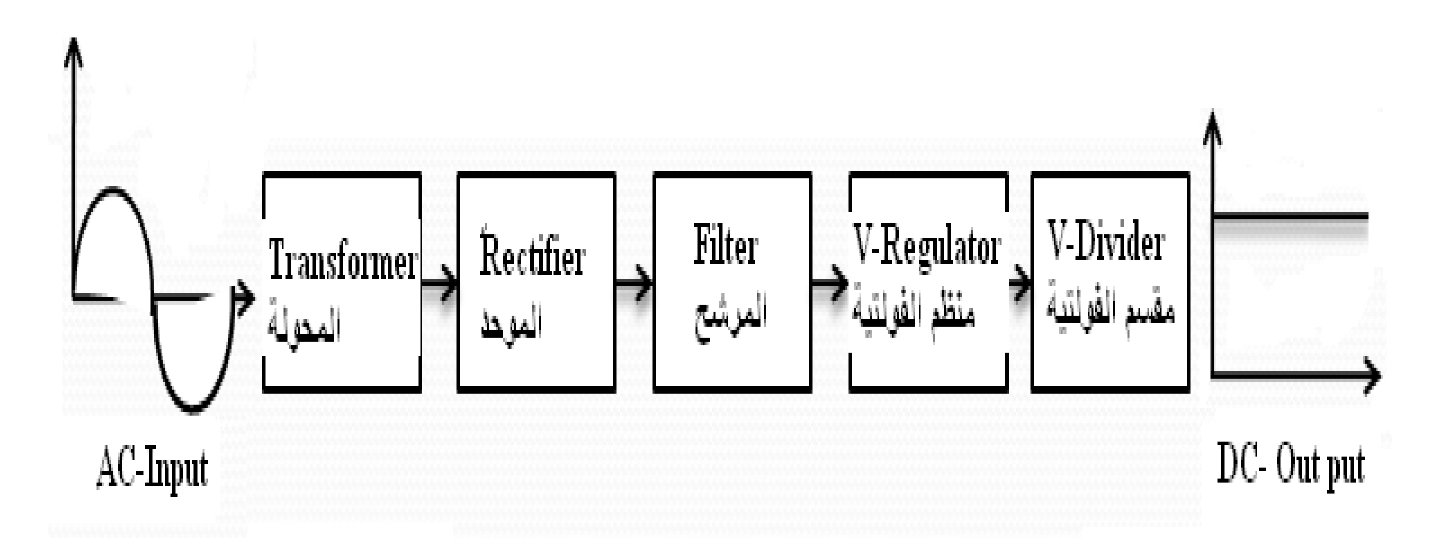
الأسبوع	التفاصيـــــــــــــــــــــــــــــــل
العشرون والحادي والعشرون	مفهوم التغذية العكسية – التغذية العكسية السالبة وخصائصها – } الأنظمة المغلقة التغذية العكسية الموجبة السيطرة وخصائصها – حدوث التذبذبات بالمكبرات . أسس التحكم الآلي { الأنظمة المفتوحة OPEN LOOP SYSTEM { CLOSED LOOP SYSTEM }POTENTIOMETER .} TRANSFER FUNCTION المخطط ألكتلي لمنظومة {
الثاني والثالث والرابع والعشرون	دراسة المنظومات المستخدمة في التحكم الآلي – TRANS DUCER TACHOMETR وغيرها وأمثلة أخرى. أنواع المسيطرات – المسيطر التناسبي – المسيطر التفاضلي – المسيطر التكاملي. منظومات السيطرة أحادية الرتبة وثنائية الرتبة مع أمثلة تطبيقية حولها
الخامس والسادس والسابع والعشرون	أنواع المذبذبات : مبدأ عمل المذبذبات 0 الشروط اللازمة للتذبذب 0 مذبذب إزاحة الطور – مذبذب قنطرة وين مذبذبات نوع LC– مذبذب ها رتلي – مذبذب كوبلكس هزاز التراخي – دائرة قدح سميث – المذبذب الحر أحادي الاستقرار , ثنائي الاستقرار, مولد المسار
الثامن والتاسع والعشرون والثلاثـــون	الدائرة المتكاملة – مجاميع الدوائر المتكاملة – طرق تصنيفها – عوائل الدوائر المتكاملة BCL , CMOS , TTI ودراسة خصائصها تطبيقات الدوائر المتكاملة ودراسة استخدامها – مكبر العمليات – خصائصه – خصائصه واستخداماته 555واستخداماته – دائرة المؤقت الزمني

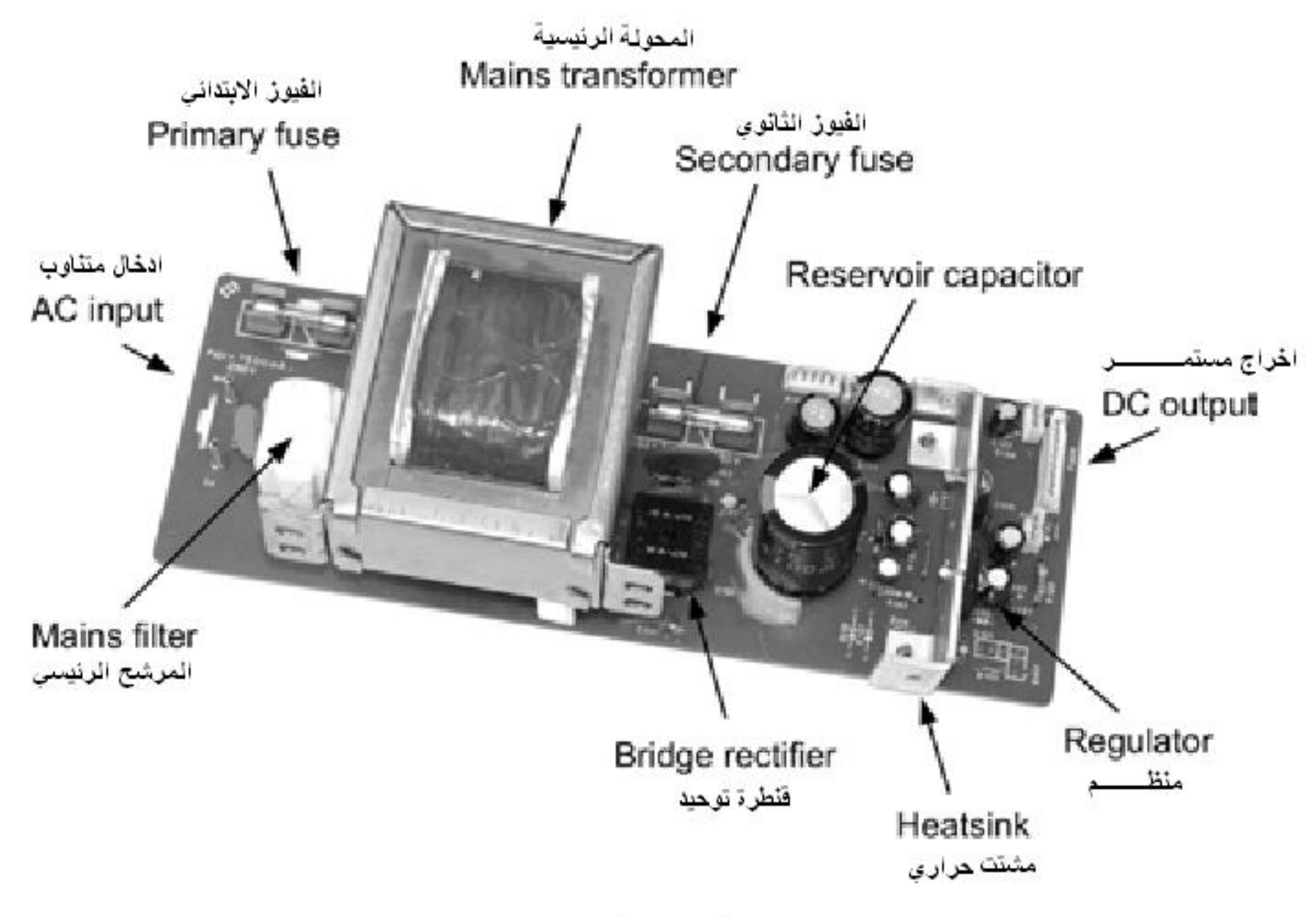
مجهزات القدرة المستمرة DC- Power Supplies

جميع الدوائر الالكترونية تحتاج لتشغيلها الى مصادر فولتية مستمرة لتوفير الانحياز الازم لعمل العناصر الالكترونية وهذه الفولتيات يمكن الحصول عليها من البطاريات بمختلف انواعها ولكن على الرغم من ان البطاريات تمتاز بفولتيات خالية من التموج اضافة الى سهولة تضمينها للاجهزة كما هو الحال في اجهزة الراديو وبقية الاجهزة المنزلية التي تعمل بالبطاريات .

لكن العديد من الاجهزة لايمكن للبطاريات ان توفر لها الفولتيات الازمة لعملها كون تلك الاجهزة تحتاج الى فولتيات عالية ومتعددة القيم كما هو الحال في اجهزة التلفزيون اضافة الى ذلك ان الطاقة المجهزة من البطاريات تستهلك مع الزمن . لذلك اصبح من الضروري تصميم مجهزات قدرة مستمرة تكون من ضمن الاجهزة او ملحقة بها كمافي

الحاسبات . واساس عمل هذه المجهزات يعتمد على مبدأ تحويل الفولتية المتناوبة الى مستمرة (Ac-dc) باستخدام الموحدات (Rectifier)والمخطط الكتلي ادناه يوضح مراحل تصميم مجهز القدرة المستمرة .





شكل يوضح دائرة عمليـــة لمجهز قدرة مستمرة

المحولة (*Transformer*)

وظيفتها في معظم الاحيان بدوائر مجهزات القدرة هي خفض فولتية المصدر المتناوب لقيمة واحدة او لعدة قيم حسب حاجة مجهز القدرة كما انها توفر حالة عزل (Isolation) بين خط المصدر ودائرة

الموحد (*Rectifier*)

وهي دائرة تستخدم دايود او اكثر حسب نوعية الموحد المستخدم لتحويل الفولتية المتناوبة الى فولتية مستمرة (نبضية) اى انها متغيرة الشدة ثابتة الاتجاه .

المرشح *(Filter)*

وظيفة دوائر الترشيح في مجهزات القدرة هي ازالة النبضات او التموج (Ripples) من موجة الاخراج للموحد لتكون اقرب الى فولتية البطارية

منظم الفولتية *(Voltage Regulator)*

الوظيفة الرئيسية لهذة المرحلة هى المحافظة على فولتية الاخراج لمجهز القدرة ثابتة في حالة :-

1- تغير فولتية الخط (مصدر الفولتية المتناوب)

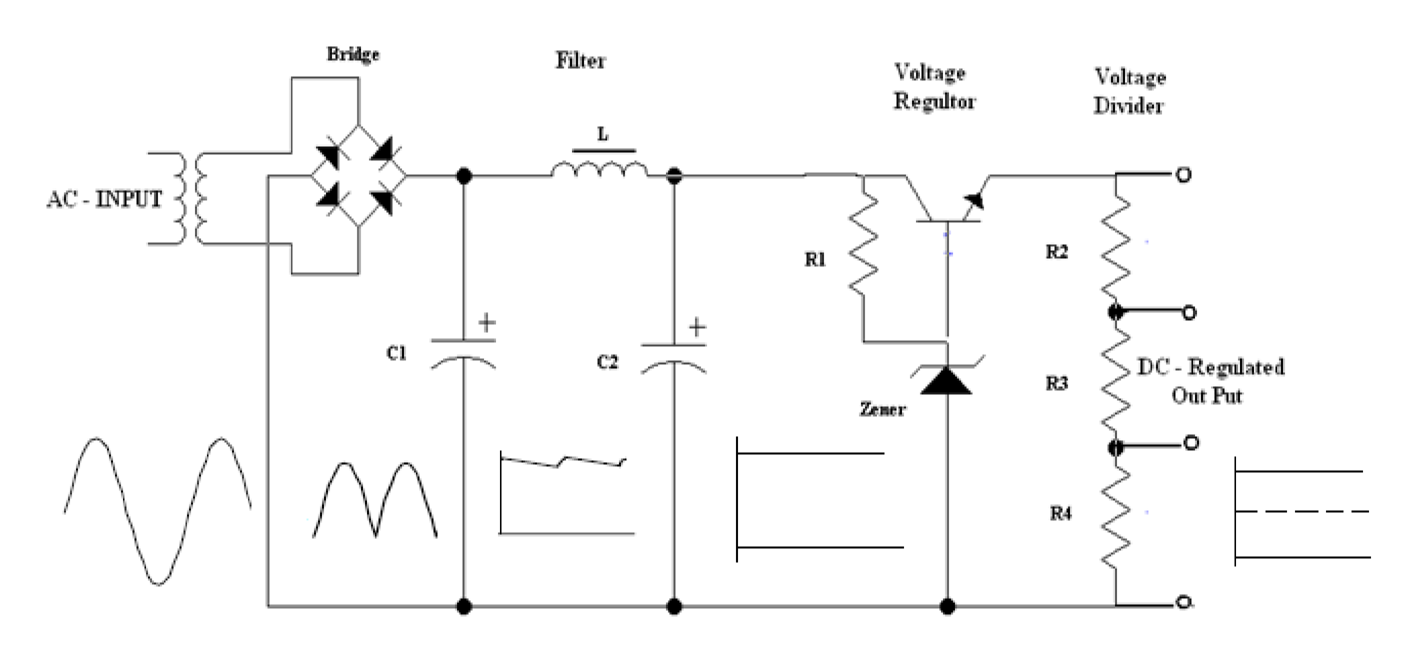
2- تغير تيار الحمل

عادةيستخدم الزنر دايود والترانزستور والدوائر المتكاملة للقيام بعملية تنظيم الفولتية

مقسم الفولتية *Voltage Divider*

الوظيفة الأساسية لهذة المرحلة هي تجهيز فولتيات مستمره مختلفة وحسب حاجة الدوائر الالكترونية. حيث تحتوي عدد من المقاومات مربوطة على التوالي (مجزيء جهد) للحصول على مستويات مختلفة من

الفولتيات المستمرة حيث يدعى هذا ب (Bleeder Resistor)
والشكل الموضح ادناه يبين دوائر مجهز القدرة والشكل الموجى لكل مرحلة



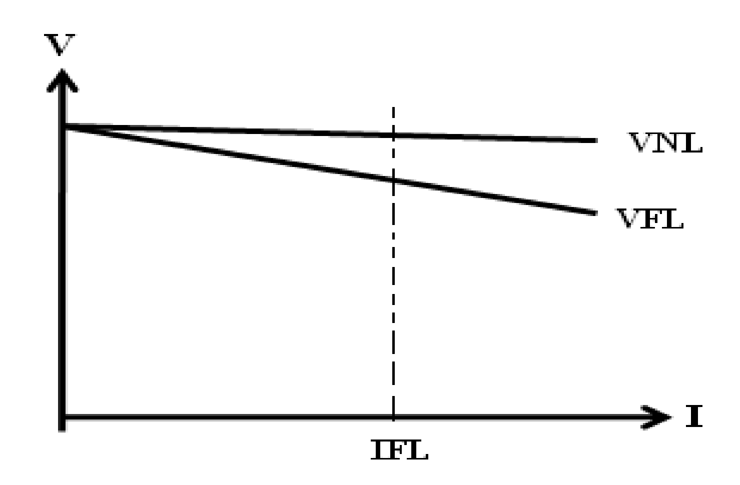
1 - 2منظمات الفولتية *Voltage Regulator*

سبق وان تعرفنا على مراحل مجهز القدرة المستمرة في المرحلة السابقة
ووضحنا ذلك بصورة موجزة في المخطط السابق حيث ان من اهم المراحل هي منظم الفولتية والتي يمكن خلالها ان نحصل على فولتية اخراج للمجهز تكون ثابتة مهما تغيرة فولتيةِ من
الخط(AC lin) أو تغير تيار الحمل(load current)
ان الهدف الساسي لتنظيم الفولتية هو تقليل التغيرات في حالة الاحمل (No Load)الى حالة الحمل الكامل(Full Load)الى اقل مايمكن حيث يمكن حساب النسبة المئوية للتنظيم من العلاقة الرياضية التالية:-

$$\mathrm{Re}\,gulation = \frac{VNL - VFL}{VFL}\%$$

وحسب العلاقة البيانية الموضحة بالرسم ادناه حيث ان :-

الفولتية في حالة الاحمل :- *VNL* الفولتية في حالة الحمل الكامل :- *VFL*



فولتية تنظيم الحمل في حالة منظم الفولتية المثالي تكون النسبة المؤية مساوية للصفروعندها تدعى ب (*Regulation Load*)

3 –1 دوائـــــر منظمات الفولتية Voltage Regulators Circuits

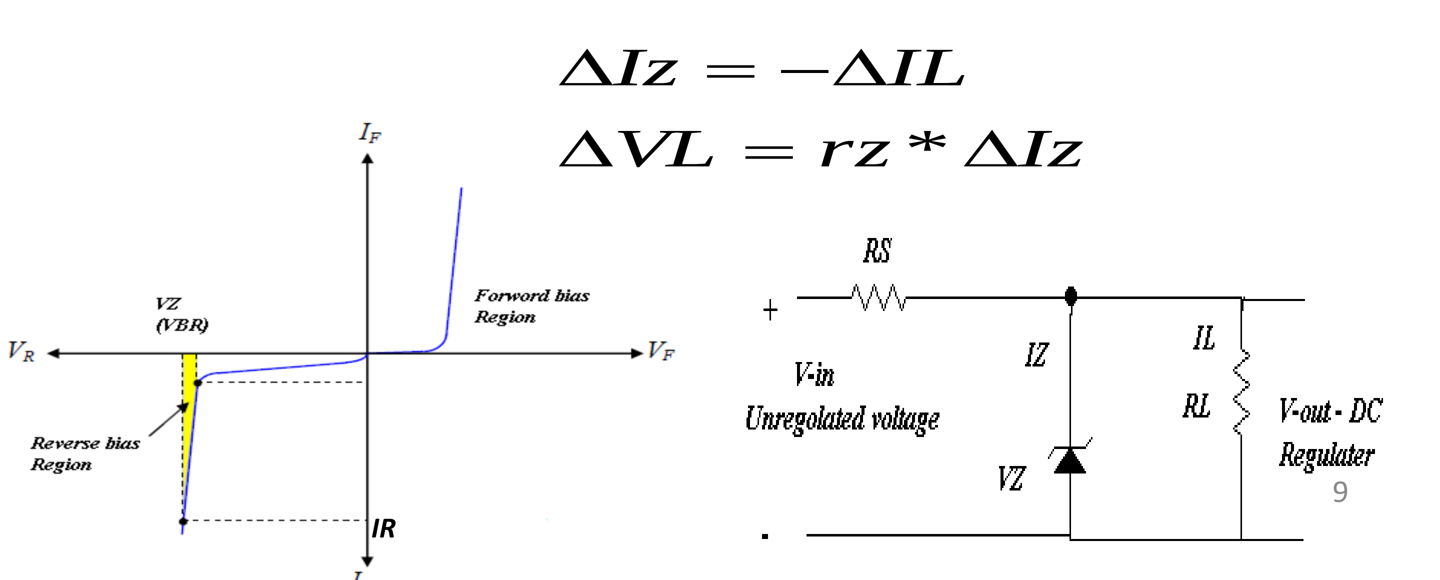
اولا" :- منظم الفولتية باستخدام الزنر دايود (Voltage Regulator by using Zener Diod)

يعتبر ثنائي الزنر من ابسط عناصر تنظيم الفولتية بالاعتماد على خواص انحيازه العكسية التي تسمح بمرور التيار العكسي مع تغير طفيف بالفولتية (ثابتة نسبيا") عندجهد معين يدعى (فولتية الزنير Vz)

حيث ان التغيرات في تيار الزنر تنتج تغيرات في تيار الحمل مساوية لها بالمقدار وبعكس الاشارة

$$\Delta Iz = -\Delta IL$$

$$\Delta VL = rz * \Delta Iz$$



من خلال المعادلة انفة الذكر نلاحظ ان التغيرات في تيار الزنر كلما زدادت تسبب زيادة معاكسة في تيار الحمل حيث ان هذه التغيرات تصبح مؤثرة سلبيا لذلك اصبح من الضروري ايجاد عوامل تقلل الى حد كبير هذه التغيرات وهذا ماسنوضحه في دوائر التنظيم التي يدخل الترانزستور كعنصر اساسي فيها

مثال *EXM*

دائرة منظم فولتية باستخدام الزنر دايود الموضحة بالشكل ادناه اذا علمت ان Vz=6.8 , rz=2Ω
Iz=50mA , I=150 mA
احسب مقدارفولتية الحمل عندما يتغير تيار الحمل من (10mA .....120mA)واحسب نسبة التنظيم



Solution .

If IL=120mA

Iz=150 -120=30mA
ΔIz=30-50=-20mA
فرق الجهد على الدايود=Iz*rz=-20*2=-40mv
VL= Iz*rz+Vz= -0.04 +6.8=6.76v

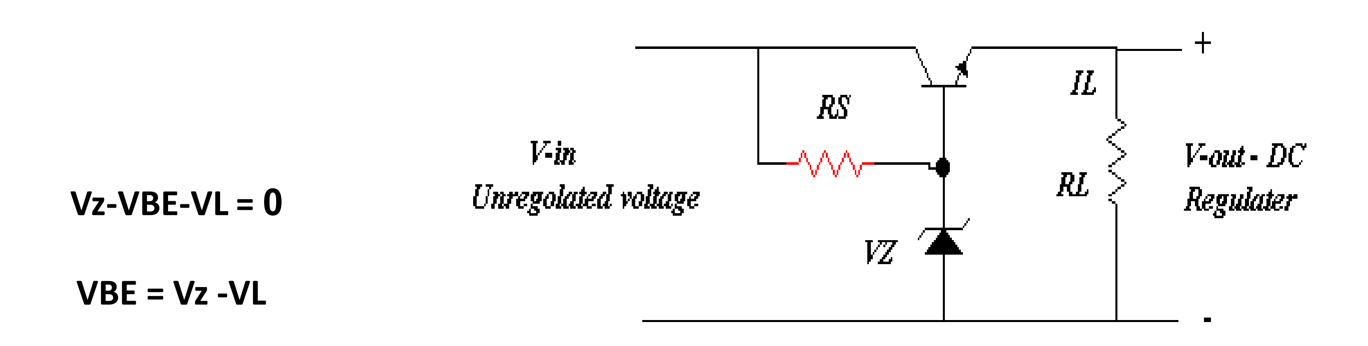
If IL=10mA
Iz=150-10=140mA
ΔIz=140-50=90mA
فرق الجهد على الدايود= Iz*rz=90*2=180mv
VL=Iz*rz+Vz=0.18+6.8=6.98

%Regulation =

$$\frac{VNL - VFL}{VFL} = \frac{6.98 - 6.76}{6.76} * 100 = 0.48\%$$

ثانيا" :- منظم التوالي باستخدام الترانزستور *Transistor Series Voltage Regulator*

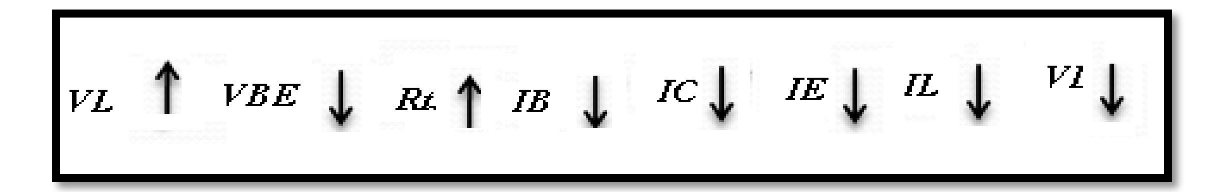
الشكل ادناه يوضح دائرة منظم توالي باستخدام الترانزستور مع زنر دايود حيث ويمكن تحليل الدائرة ثابتة باستخدام قانون كريشوف الثاني حيث تستخدم فولتية (Vz)كفولتية مرجعية (V- Refrence)



من المعادلة اعلاه يتضح انه كلما كان (VL)اقل تزداد (VBE)باعتباران (Vz). ثابتة ممايؤدي الى زيادة(IB) اوبالتالي زيادة (IC)اونقصان المقاومة بين الجامع والباعث وزيادة تيار الباعث والذي بدوره يمثل تيار الحمل وعلية يكون المنطق التعاقبي لدائرة المنظم المتوالي في حالة نقصان فولتية(IE)
الحمل (VL) كما يلي :-

$VL \downarrow \quad VBE \uparrow \quad Rtr \downarrow \quad IC \uparrow \quad IB \uparrow \quad IE \uparrow \quad IL \uparrow \quad Vl \uparrow$

اما في حالة زيادة فولتية الحمل (VL)فسوف يكون المنطق التعاقبي كما يلي



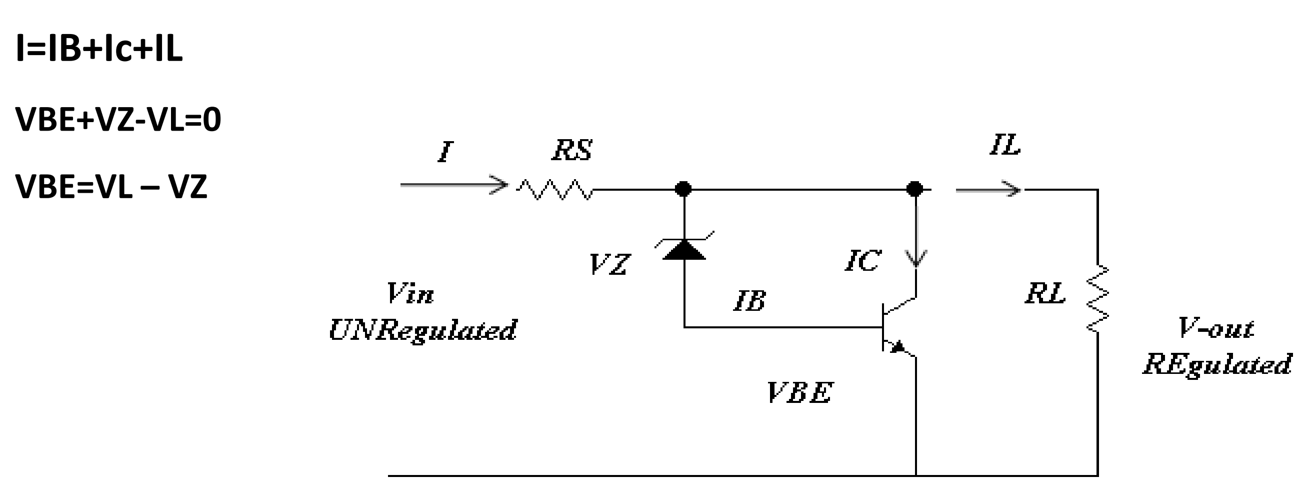
ثالثا" :- منظم جهد توازي *Transistor Shunt Voltage Regulator*

الشكل ادناه يمثل دائرة منظم فولتية متوازي حيث يوصل الترانزستور مع الحمل ومن خلال تحليل الدائرنلاحظ ان :-

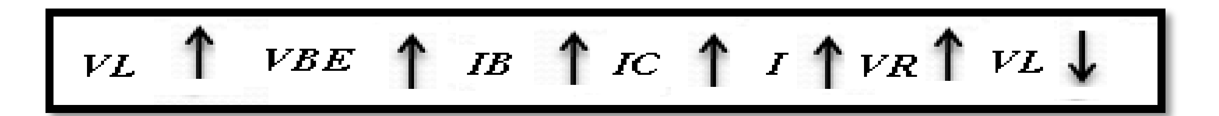
$I=I_B+I_c+I_L$

$V_{BE}+V_Z-V_L=0$

$V_{BE}=V_L - V_Z$



وبما ان (VZ) ثابتة فان اى تغير في فولتية الحمل (VL) يؤدي الى تغير في فولتية (VBE)زيادة او نقصان وعلية يكون المنطق التعاقبي عند زيادة فولتية الحمل كما يلي :-



وبالعكس في حالة نقصان فولتية الحمل (VL)

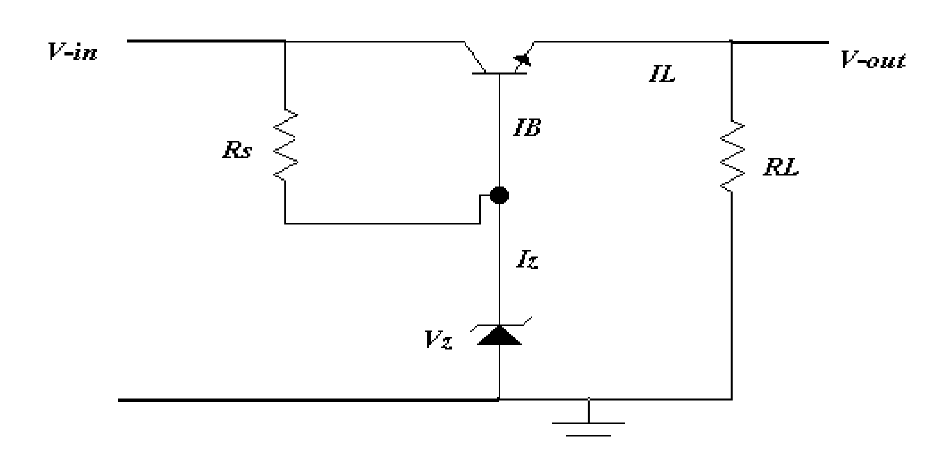
مثال EXM

دائرة منظم فولتية توالي اذا علمت ان فولتية الادخال 40 فولت وان مقاومة الحمل RLتتغير من (50 - 100) اوم

$r_z = 6\Omega$, $V_z = 5.5$ v , $\beta = 150$

1 - احسب التغيرات في تيار الزنر وتيار الحمل.

2- احسب القدرة المبددة في حالة الحمل الكامل.



Solution **.**

If RL = 50Ω

$I_L = V_{out} / R_L$

$V_{out} = V_z - V_{BE}$

$= 5.5 - 0.7 = 4.8v$

$I_{L(max)} = 4.8/50 = 96mA$

If RL=100Ω

$I_{L(min)} = 4.8/100 = 48mA$

$\Delta I_L = 96 - 48 = 48mA$

$\Delta I_z = -\Delta I_L / \beta$

$= -48/150 = -0.32$

$PD = (V_{in} - V_L) * I_L$

$= (40 - 9.6) * 96 = 291mw$

HW

1-احسب النسبة المؤية للتنظيم

2- لو ربط ترانزستوراخر معه بطريقة ازدواج دارلكتن اعد حساب المطاليب في المثال اعلاه اذاعلمت ان $\beta = 100$

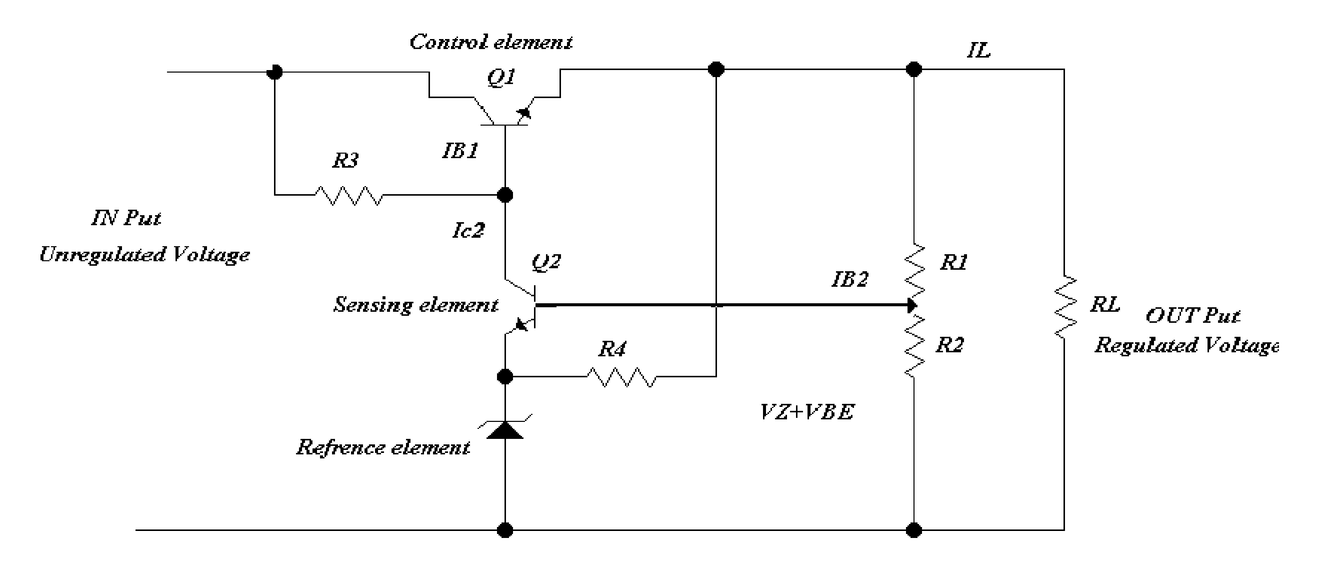
3- ارسم الدائره

ثالثا":- منظم التوالي المسيطر(الحلقة المغلقة) *Controlled Transistor Series*

في الدائرة ادناه نلاحظ انهامكونة من ثلاث عناصر اساسية هي :-

1- عنصر السيطرة Control element
2-عنصر التحسس Sensing element
3- عنصرفولتية المرجعية Refrence element

حيث تمتلك هذه الدائرة بواسطة الترانزستور الثاني ميزة التحسس بمساعدة مجزىءالجهد R1, R2



ويمكن تحليل الدائرة رياضيا" وكما يلي:-

$$I >> IB2$$

$$VL = VR1 + VR2$$

$$VL = IR1 + IR2 = I(R1 + R2) \text{..............} (1)$$

$$VR2 = VZ + VBE2 \text{..............................} (2)$$

$$VR2 = IR2 \text{...} (3)$$

$$Divide (1)...(2)$$

$$\frac{VL}{VR2} = \frac{I(R1 + R2)}{IR2} = \frac{R1 + R2}{R2}$$

$$\frac{VL}{VZ + VBE2} = \frac{R1 + R2}{R2}$$

$$\therefore VL = \frac{R1 + R2}{R2}(VZ + VBE2)$$

$$\therefore VL \alpha \frac{1}{R2}$$

المنطق التعاقبي للدائرة في حالة نقصان فولتية الحمل يكون كمايلي

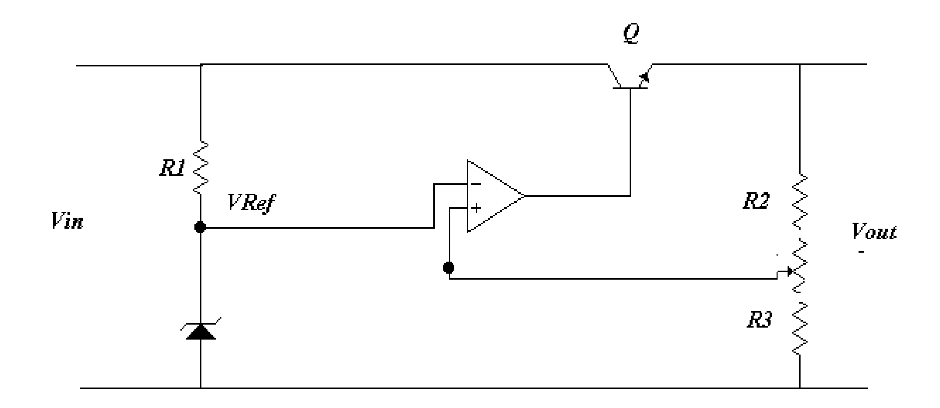
VL↓ IB2 ↓ **Ic2**↓ IB1↑ VCE1↓ VL↑

ويكون عكس المنطق التعاقبي اعلاه في حالة زيادة فولتية الحمل VL

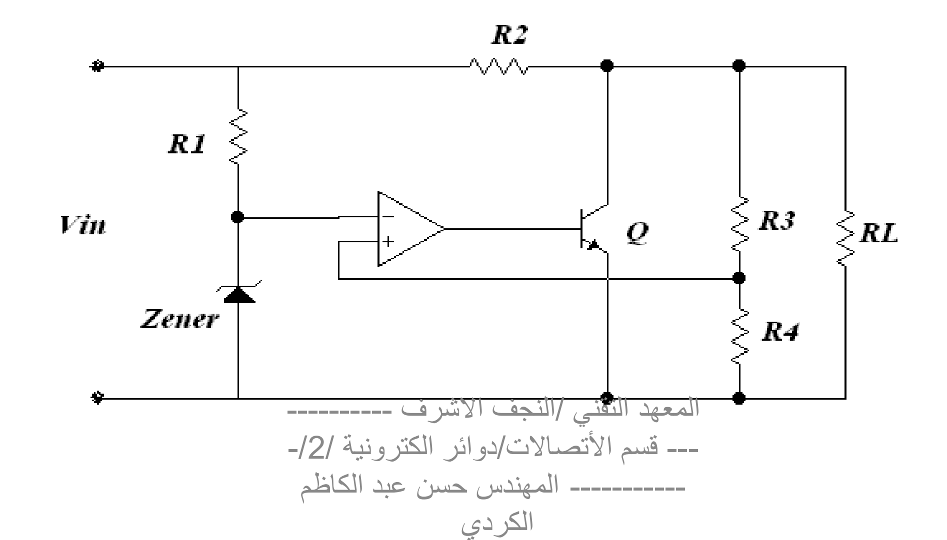
رابعا":- منظم الفولتية توالي مع مكبر العمليات OP –AMP Series Regulator

في الدائرة الموضحة ادناه يضاف مكبر العمليات الى دائرة منظم التوالي ليعمل كمقارن بين فولتية الزنر التي تعتبر كفولتية مرجعية Vrefوالفولتية القادمة من مقسم الجهد (R3 R2)الذي يتحسس التغيرات في فولتية الاخراج والفرق القليل بين الفولتيتين يدعى بفولتية الخطاء (Error Voltage) يكبرويسلط على قاعدة الترانزستور ممايجعل فولتية الباعث تساوي فولتية الحمل وتستمر الزيادة حتى يتساوى ادخال المكبر مع فولتية الزنر . والشىء يحدث بالعكس في حالة زيادة فولتية الحمل ويمكن حساب فولتية الاخراج لهذه الدائرة منن العلاقة الرياضية التالية

$$Vout = Vref\,(1 + \frac{R2}{R3})$$

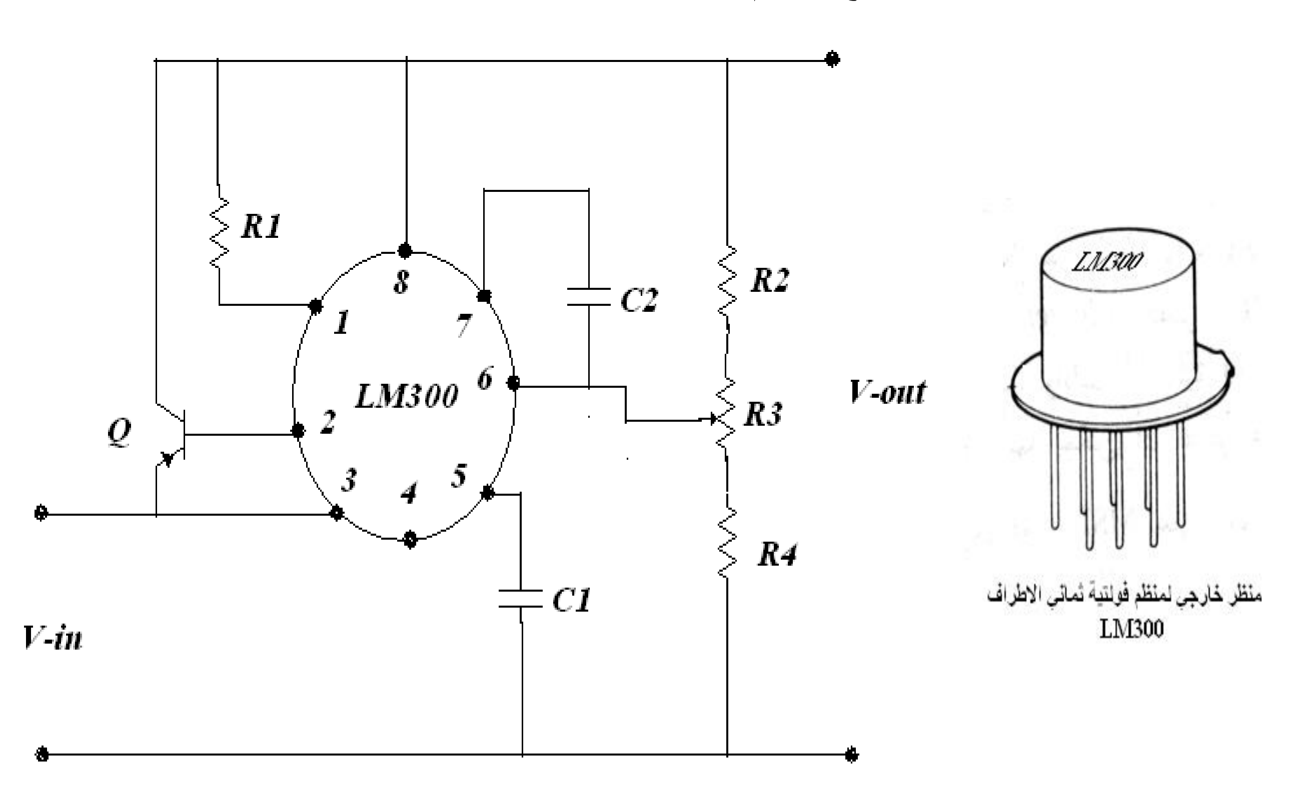


ويمكن ان يربط مكبر العمليات مع دائرة منظم التوازي كما في الشكل ادناه



خامسا" :-منظمات الفولتية باستخدام الدوائر المتكاملة *IC – Voltage Regulator*

نتيجة للتطور الحاصل في تصنيع الدوائر المتكاملة وانخفاض كلفة تصنيعها وأدائها الجيد وقلت المكونات الملحقة بها . استخدمة منظمات الفولتية ذات الدوائر المتكاملة وباجيال مختلفة .حيث تم انتاج منظم الفولتية ثماني الاطراف في مطلع الستينات من شريحة الجيل الاول مثل LM300 , uA723 وكما موضح بالرسم ادناه :-



منظر خارجي لمنظم فولتية ثماني الاطراف
LM300

1) Limit تحديد
2) Booster معزز (زيادة السعة)
3) Input ادخال
4) Ground ارضي
5) Bypass امرار
6) Feed back تغذية عكسية
7) Compenatin تعادل
8) Out put اخراج

من مساوىء هذا النوع من المنظمات هو كثرة اطرافة الخارجية (8) اطراف اضافة الى حاجته الى مكونات اضافية (ملحقات) للحصول على فولتية اخراج ثابتة لذلك استبدل في الدوائر الحديثة بمنظم الفولتية ثلاثي الاطراف (LM317)

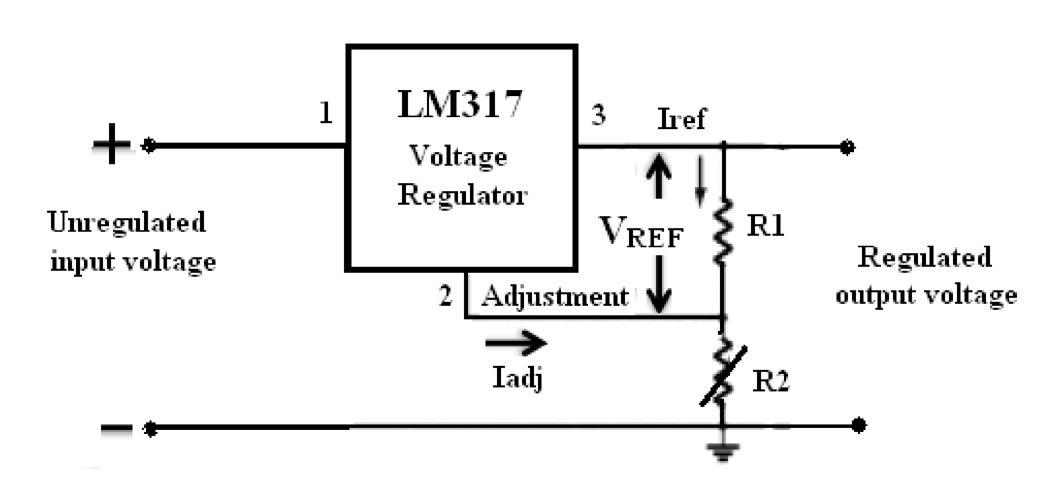
سادساً:- منظم الفولتية ثلاثي الاطراف LM317

Load current
I_L
IN
Voltage
regulator
OUT
GND
+
فولتية الادخال غير منظمة
Unregulated
input voltage
V_i
فولتية الاخراج منظمة
Regulated
output voltage
V_o
الحمل
Load
−
ΔV_o
Load regulation تنظيم الحمل
Line regulation تنظيم الخط

LM317
Input
Common
Output

منظر خارجي لمنظم الفولتية
LM317

مخطط كتلي لدائرة منظم الفولتية ثلاثي الاطراف
LM317



مخطط دائرة منظم الفولتية نوع LM317

الدائرة المتكاملة LM317

تستخدم بشكل واسع في دوائر منظمات الفولتية لمجهزات القدرة حيث تمتاز بسهولة تركيبها حيث يمثل الطرف (1) الادخال القادم من دائرة المرشح والذي يمثل فولتية مستمرة ولكن غير منظمة اما الطرف (2) يمثل طرف السيطرة او الضبط على الفولتية المراد تنظيمها والطرف(3) للاخراج.

حيث ان :-

Vref = 1.25 **تمثل فولتية المرجعية**

Iadj (Adjustment Current) **تيار التحكم اوالضبط**

ويمكن تحليل الدائرة رياضيا" للاستخراج معادلة لاخراج كما يلي:

$$Iref = \frac{Vref}{R1}$$

$$Vout = VR1 + VR2$$

$$\therefore = IrefR1 + (IrefR2 + IadjR2)$$

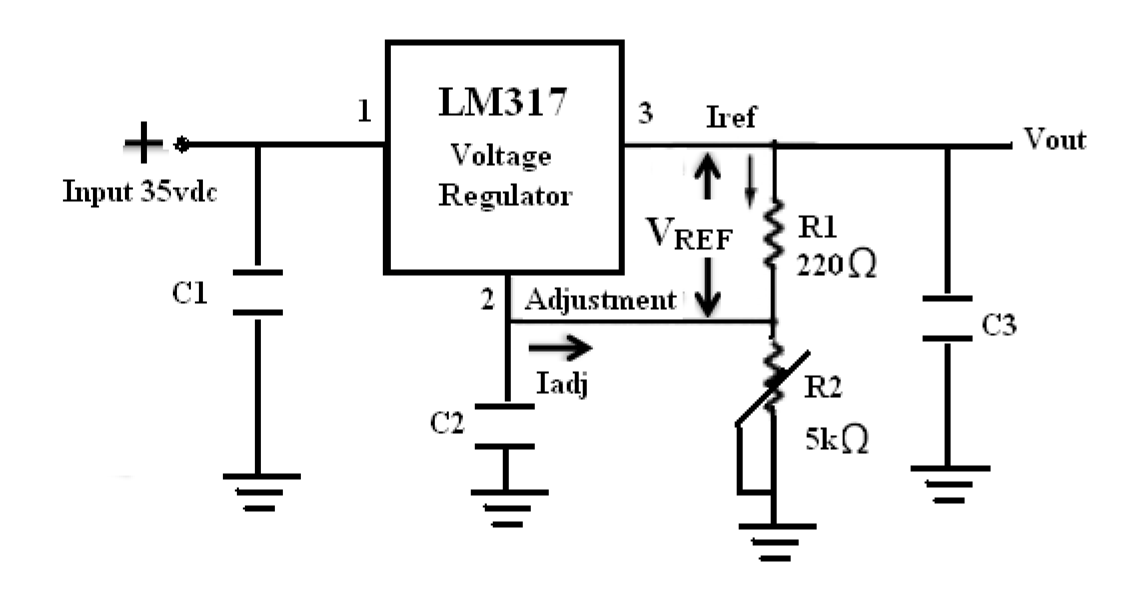
$$= Iref\,(R1 + R2) + IadjR2$$

$$= \frac{Vref}{R1}(R1 + R2) + IadjR2$$

$$\boxed{\therefore Vout = Vref\,(1 + \frac{R2}{R1}) + IadjR2}$$

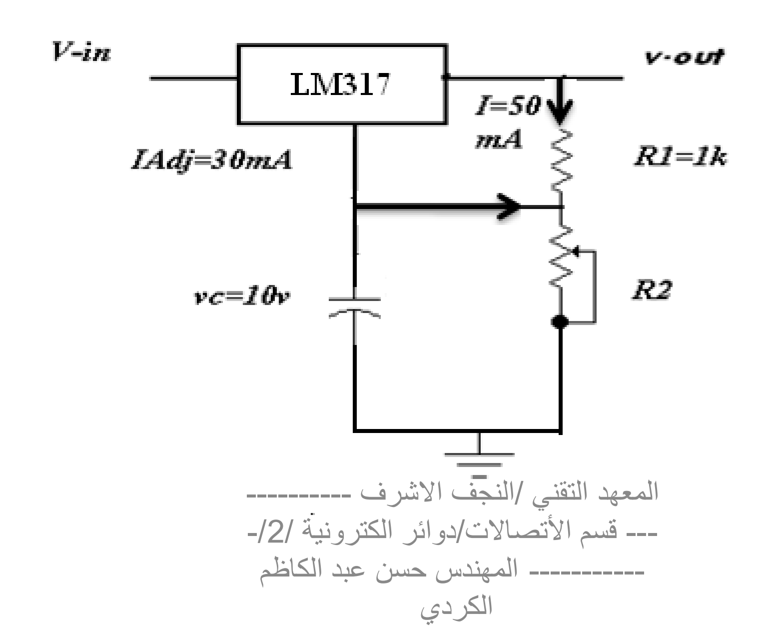
مثال (H . W) EXM

حدداقل واعظم فولتية للمنظم (LM317) الموضح بالشكل ادناه اذاعلمت ان
Iadj=50µA



مثال 2 (H . W) EXM

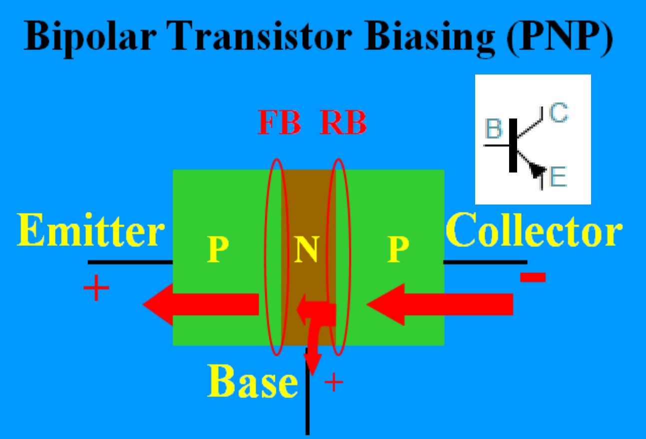
في الدائرة الموضحة بالشكل ادناه أحسب Vout

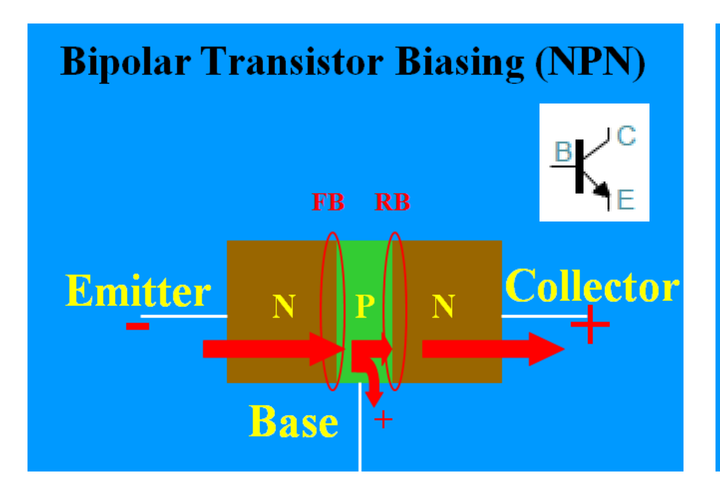


Transistor-BJTالترانزستور

INTRODUCTION مقدمـــــــــــــــــة

المخططات ادناه توضح نظرية عمل الترانزستور بنوعيه PNP, NPN وشرطي انحياز وصلتي القاعدة والجامع





نظرية عمل الترانزستور

لكي يعمل الترانزستور كمكبر يجب توفر شرطين اساسين لانحيازه هما

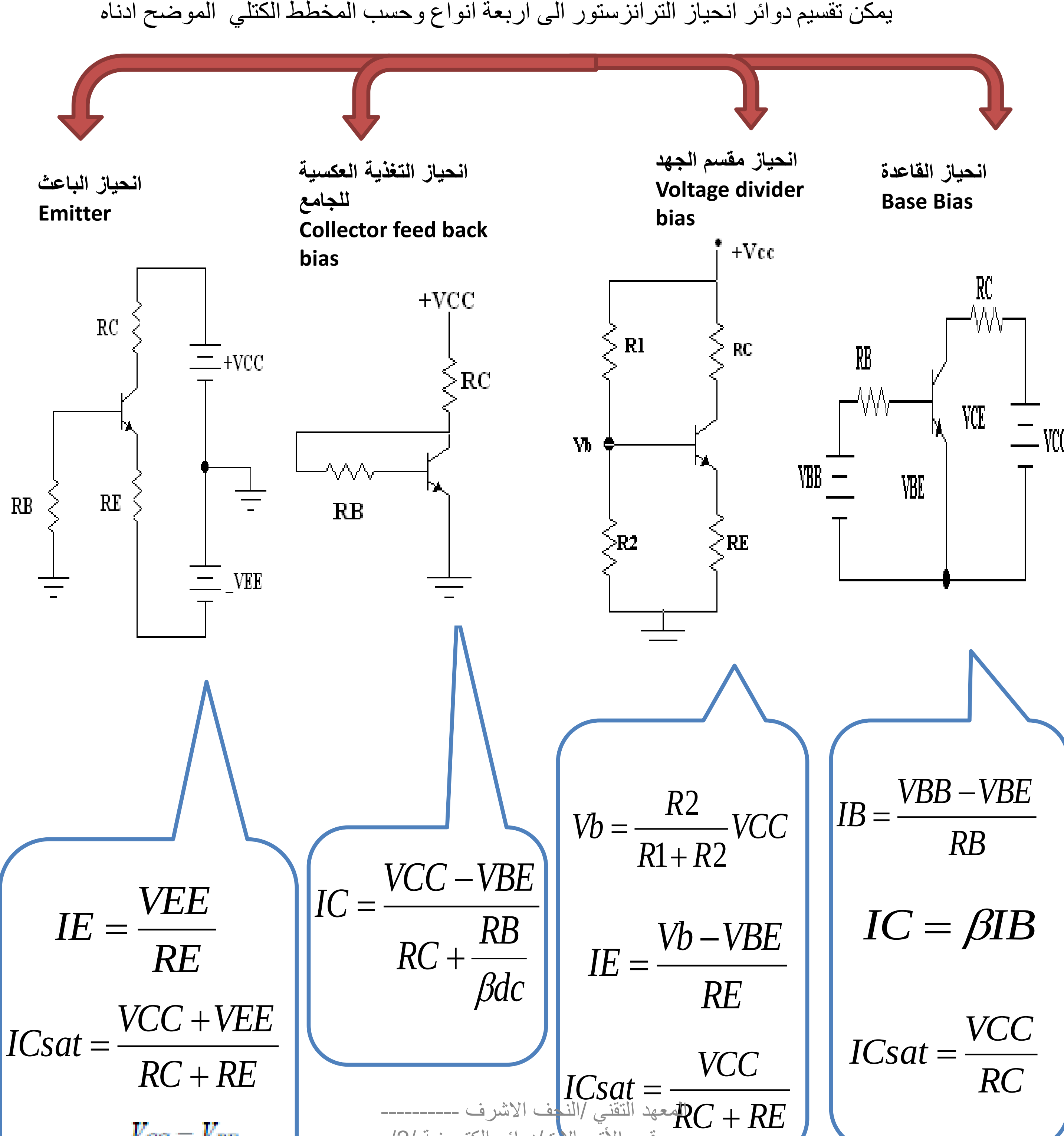
1. ان تكون وصلة الباعث – القاعدة منحازه انحياز امامي(Forward Biased)
2. ان تكون وصلة القاعدة – الجامع منحازه انحياز عكسي (Reverse Biased)

Bipolar Transistor Theory

- For *any* transistor to conduct, two things must occur.
  - The emitter - base PN junction *must* be forward biased.
  - The base - collector PN junction *must* be reverse biased.

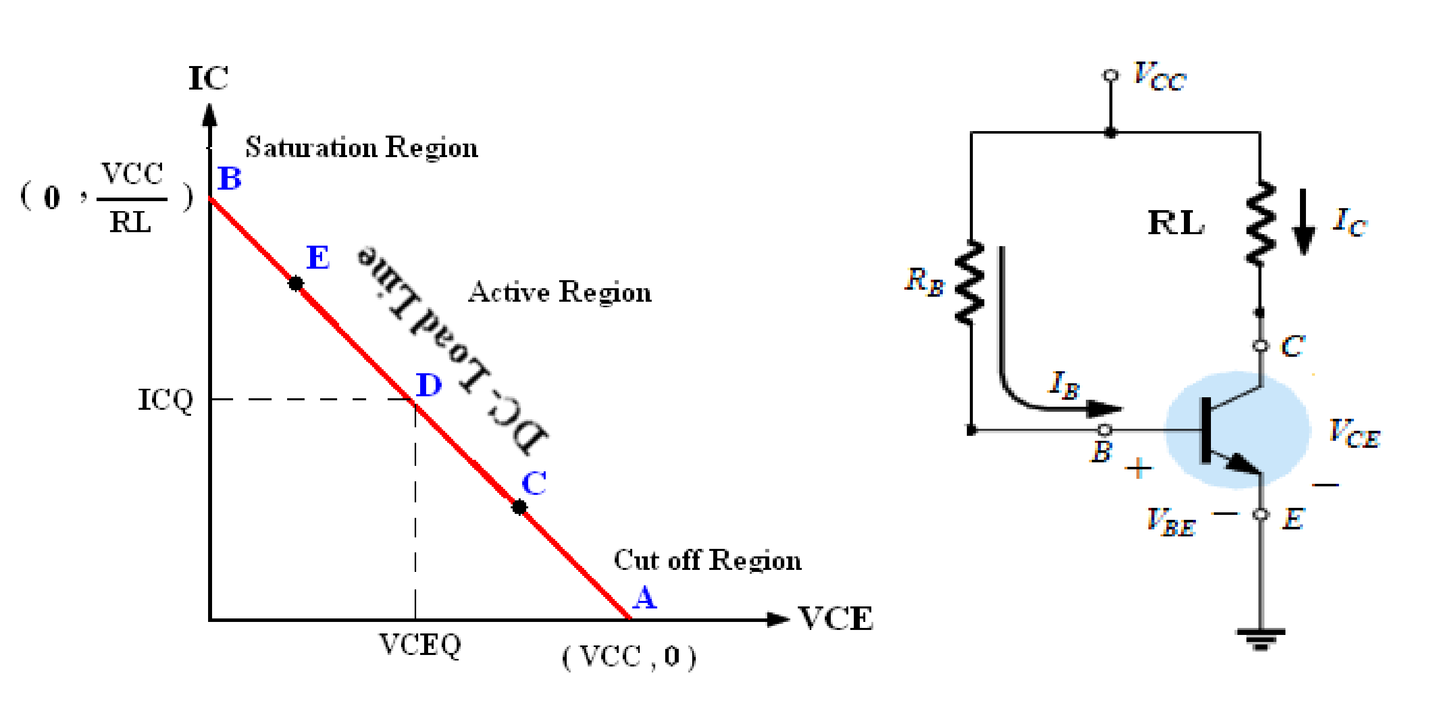
Transistor Biasing Circuits دوائر انحياز الترانزستور

يمكن تقسيم دوائر انحياز الترانزستور الى اربعة انواع وحسب المخطط الكتلي الموضح ادناه



DC- Load Line خط الحمل المستمر

خط الحمل المستمر يمثل الخط الواصل بنقاط عمل الترانزستورالمحصوره بين النهايه الصغرى (cut off point) والنهاية العليا (Saturation point) ويمكن تحديد هاتين النقطتين كما يلي :-



لوحللنا الدائرة الموضحة بالشكل اعلاه بستخدام قانون كيرشوف حيث ان

$$VCC = ICRL + VCE$$

بالقسمة علىRL

$$\frac{VCC}{RL} = IC + \frac{VCE}{RL}$$

$$\therefore IC = \frac{VCC}{RL} - \frac{VCE}{RL}$$

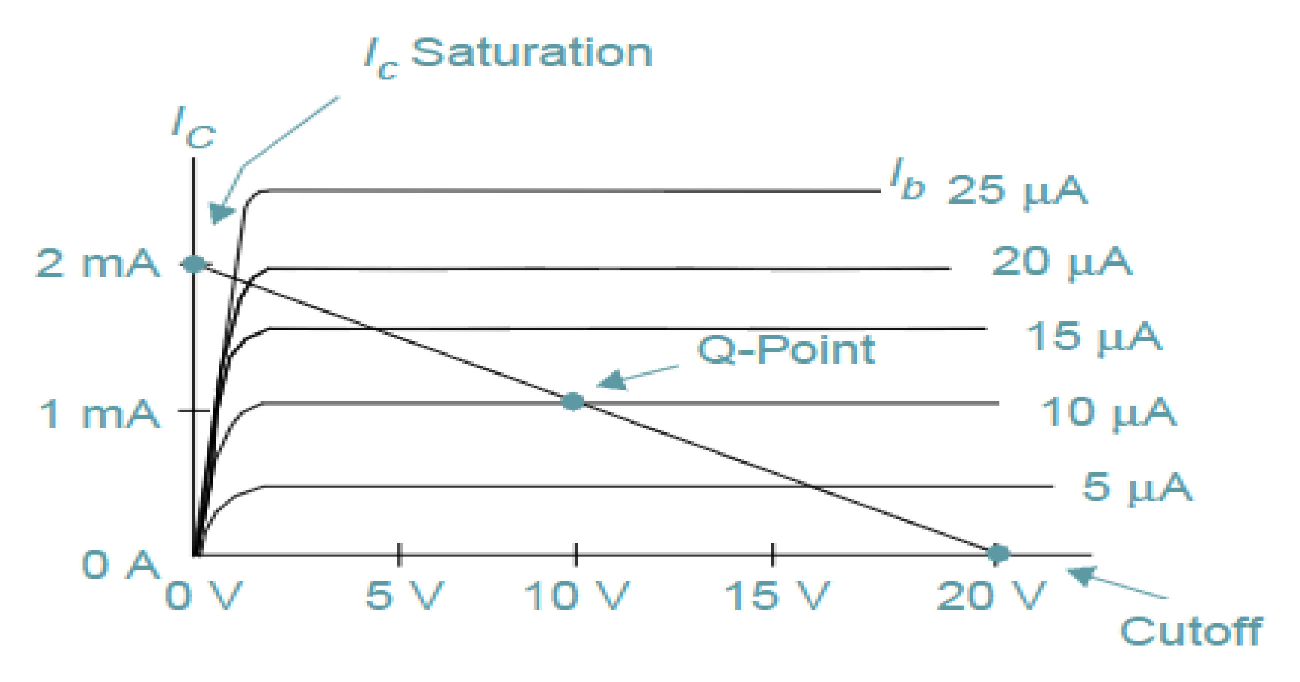
$$IC = -\frac{VCE}{RL} + \frac{VCC}{RL}$$

نلاحظ من المعادلة الاخيرة انها تشبة الى حد كبير معادلة المستقيم

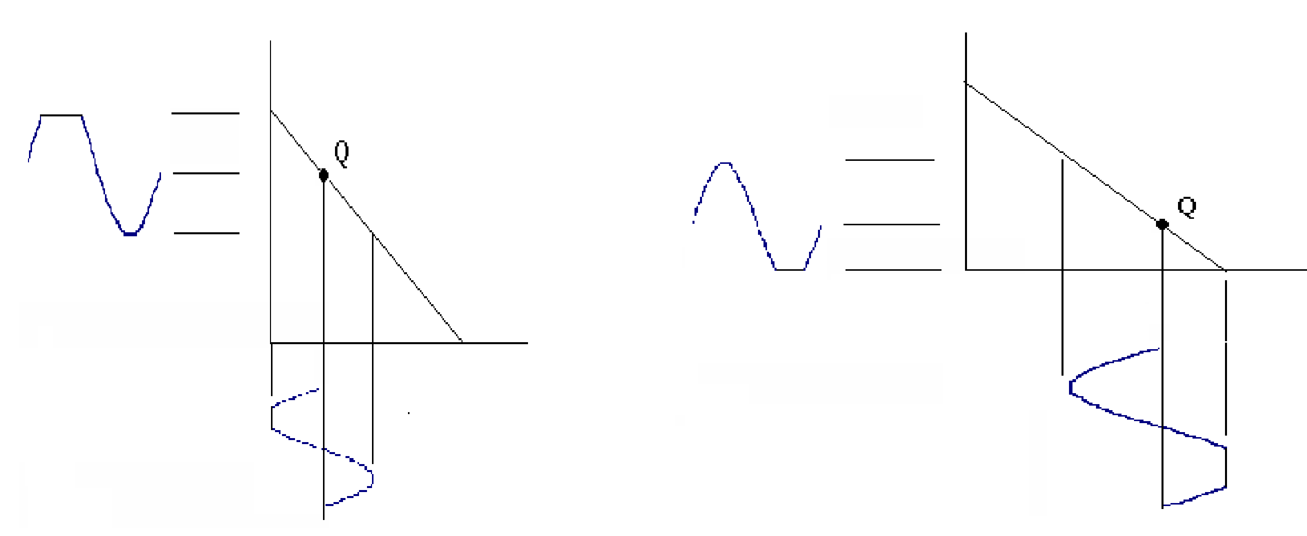
Y=-Mx+C

وان ميل خط الحمل المستمر يساوي **-1/RL**

كيف **(H W)** ؟؟؟



DC- Load Line خط الحمل المستمر

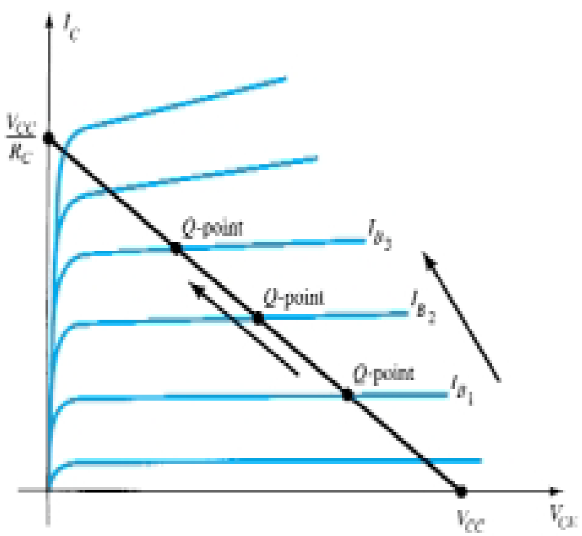


قرب نقطة العمل من منطقة القطع يحدث تشويه في النصف السالب من موجة الاخراج

قرب نقطة العمل من منطقة الاشباع يحدث تشوة في النصف الموجب لاشارة الاخراج

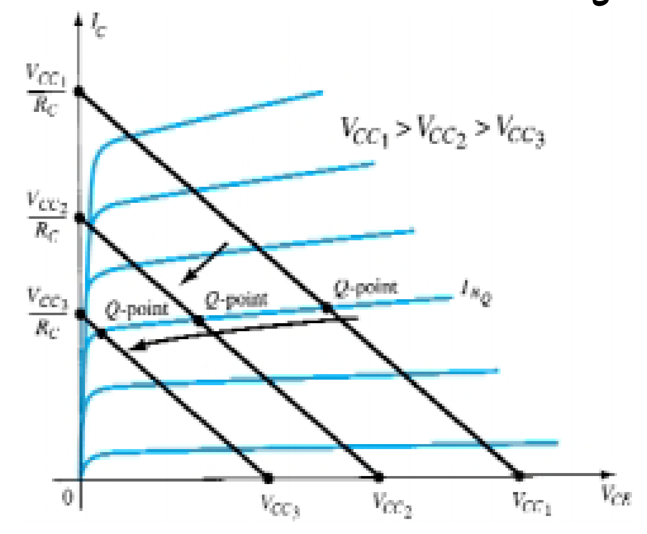
النقطة الساكنــــــــــة Quiescent

وهي نقطة عمل الترانزستور التي تمثل تيار (IC) وفولتية (VCE)الحاصلة للترانزستورفي حالة عدم تسليط اشارة وتعتمد مباشرة على معاملات الدئرة وفولتية الانحياز وان افضل موقع لنقطة العمل الساكنة هوفي المنتصف بين منطقتي القطع والاشباع



تغير مستويات خط الحمل المستمر مع تغير مقاومة الحمل

تغير موقع نقطة العمل مع تغير مستويات تيار القاعدة



تأثير تغير VCCعلى خط الحمل

VEE 30

VCC20

RE15k

RL5k

مثال (HW)EXM

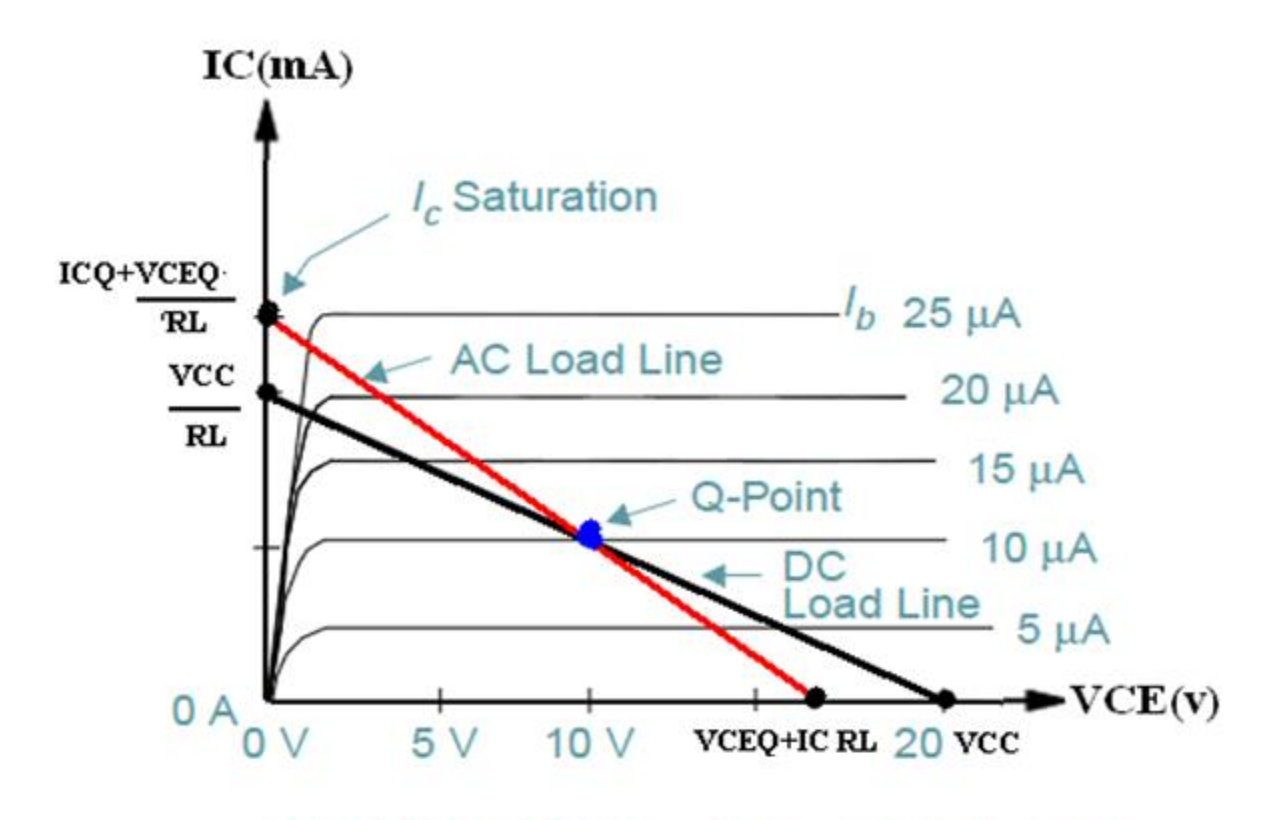
في الدائرة الموضحة بالشكل ادناة

1. **ارسم خط الحمل المستمر**
2. **حدد نقطة عمل الترانزستور الساكنة (Q – point)**

خط الحمل المتناوب (AC- Load Line)

خط الحمل المتناوب هو الخط الذي يشير الى مقدار التغيرات التي تحدث بدائرة الادخال للمكبر وانعكاسها على الاخراج بالاعتماد على هيئة ربط المكبروويكون اكثر انحدارا"من خط الحمل المستمر . ويمكن تحديد نقطتي خط الحمل المتناوب كما يلي

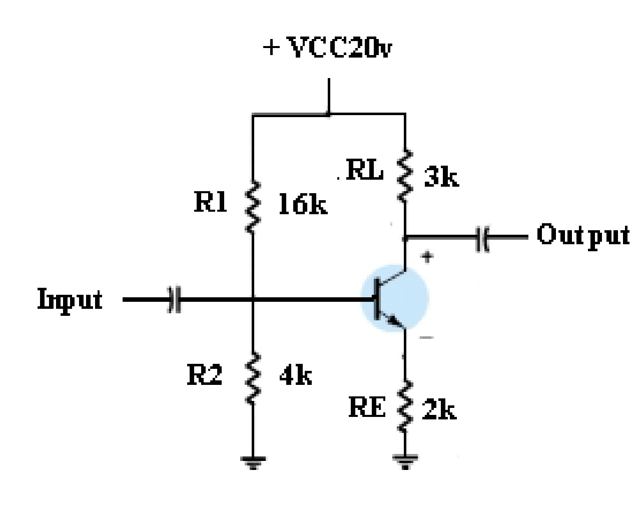
1. **في منطقة القطع (VCE-cut off= VCEQ+IC*RC)**
2. **في منطقة الاشباع (Saturation)**



DC/AC Load Line خط الحمل المستمر والمتناوب

مثال EXM

ارسم الخط الحمل المستمروالمتناوب (DC& AC Load Line)للدائرة الموضحة بالشكل ادناة



solution

For DC – Load Line

VCE= VCC

1- Cutoff point= 20v

2 - Saturation point

$$IC(sat) = \frac{VCC}{RL + RE}$$

$$= \frac{20}{5k} 4mA$$

For AC –Load Line

1- Cut off point

VCE(cut off) = VCEQ+ IC*RL

VCEQ=1/2*VCC= 10v

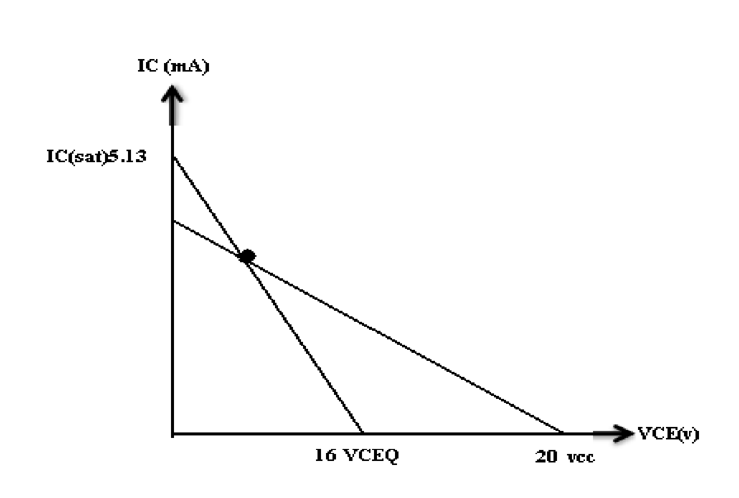
ICQ=IC(sat)/2=2mA

VCEQ(cutoff)= 10+2*3=16v

2- Saturation point

IC(sat)= ICQ+VCEQ/RL

IC(sat)= 5.13mA



نظرية التراكب لتحليل دوائر الترانزستور Super Position Theory

ان استخدام الترانزستور كمكبر يتطلب تطبيق فولتيات مستمرة ومتناوبة ممايتطلب ايجاد طريقة لتحليل سلوك دوائر الترانزستور وان ابسط طريقة للتحليل هو التجزئة الى قسمين تحليل مستمر (DC)و تحليل متناوب (AC)باستخدام نظرية التراكب

1- الدائر المكافئة المستمرة DC –equivalent Circuit

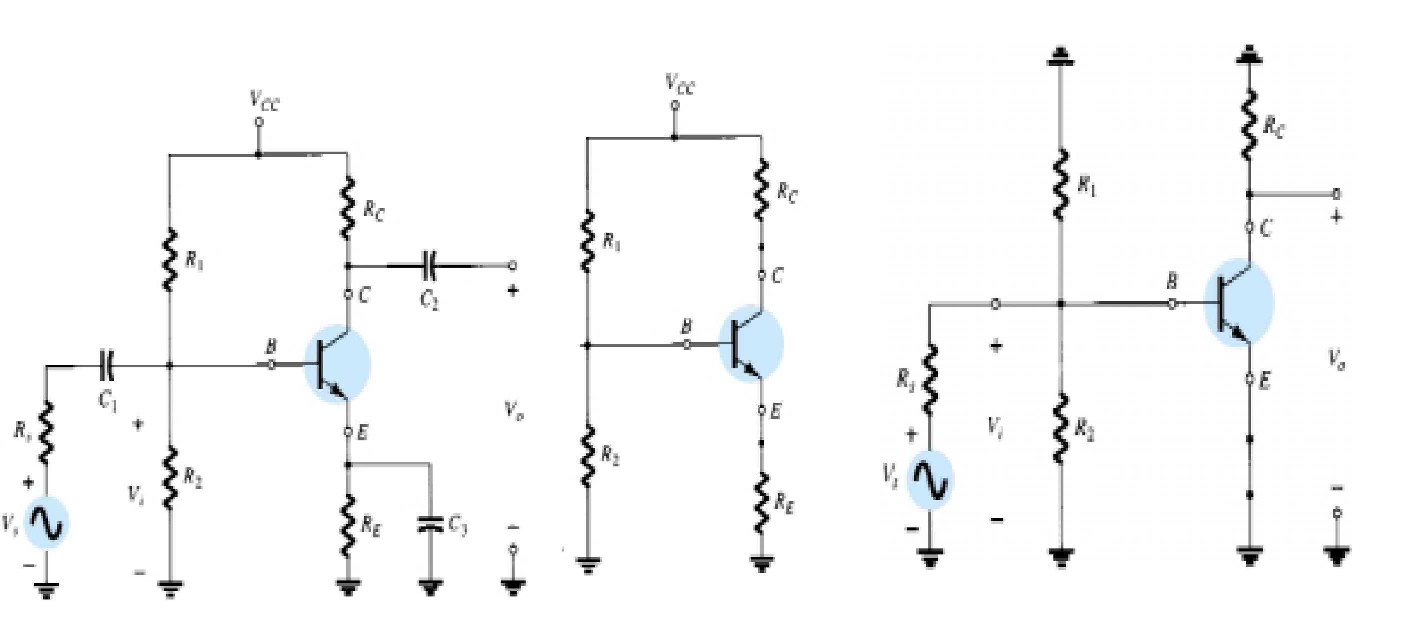
للحصول على الدائر المكافئة المستمرة تتبع الخطوات لتالية :-

1) اختزال كافة المصادرالمتناوبة الى الصفر(Short Circut)
2) فتح كافة متسعات الاقران والامرار (Open Circuit)

2- الدائرة المكافئة المتناوبة AC- equivalent Circuit

للحصول على الدائر المكافئة المتناوبة تتبع الخطوات لتالية :-

1) اختزال كافة المصادرالمستمرة الى الصفر(Short Circut)
2)قصر كافة متسعات الاقران والامرار (Short Circuit)



الدائرة الأصلية الدائرة المكافئة المستمرة الدائرة المكافئة المتناوبة

مراجعة للعلاقات الرياضية لعوامل الترانزستور

لاشتقاق العلاقة بين β و α بالاعتماد على العلاقات الاساسية $I_E = I_C/\alpha$ $\beta = I_C/I_B$

$\alpha = I_C/I_E$ $I_B = I_C/\beta$,

$$I_E = I_C + I_B$$

$$\frac{I_C}{\alpha} = I_C + \frac{I_C}{\beta}$$

and dividing both sides of the equation by I_C will result in

$$\frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{1}{\beta}$$

$$\beta = \alpha\beta + \alpha = (\beta + 1)\alpha$$

$$\boxed{\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}}$$

IB=IC-IE

and dividing both sides of the equation by I_C will result in

$$\boxed{\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}}$$

$$\boxed{I_C = \beta I_B}$$

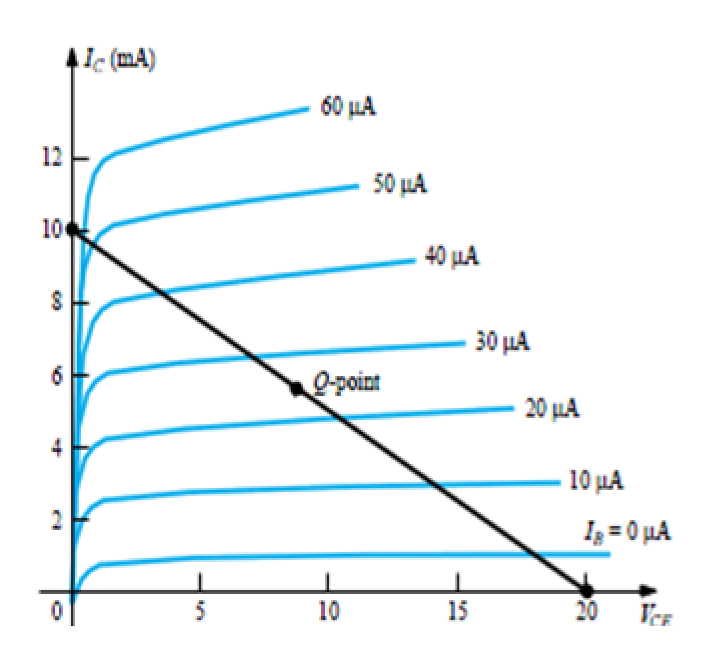
$$I_E = I_C + I_B$$

$$= \beta I_B + I_B$$

$$\boxed{I_E = (\beta + 1)I_B}$$

EXAMPLE

من منحني خواص الترانزستور الموضحة اذناه احسب
RC , RB



Solution

$$V_{CE} = V_{CC} = 20\text{ V at } I_C = 0\text{ mA}$$

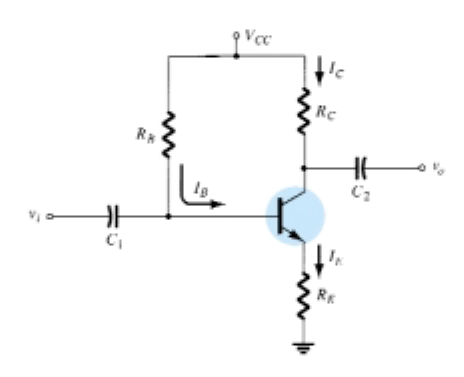
$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \qquad \text{at } V_{CE} = 0\text{ V}$$

$$R_C = \frac{V_{CC}}{I_C} = \frac{20\text{ V}}{10\text{ mA}} = 2\text{ k}\Omega$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{20\text{ V} - 0.7\text{ V}}{25\ \mu\text{A}} = 772\text{ k}\Omega$$

مثال EXM (H W) في الدائرة الموضحة ادناة أثبت ان $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$



Solution

by use KVL

$$+V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

Since

$$I_E = (\beta + 1)I_B$$

sub IE

$$V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} - (\beta + 1)I_B R_E = 0$$

$$-I_B(R_B + (\beta + 1)R_E) + V_{CC} - V_{BE} = 0$$

$$I_B(R_B + (\beta + 1)R_E) - V_{CC} + V_{BE} = 0$$

$$I_B(R_B + (\beta + 1)R_E) = V_{CC} - V_{BE}$$

$$\boxed{I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}}$$

تحليل دوائر الترانزستور يتم حسب طريقة ربط الانحياز وفق العلاقات الرياضية التي سبق ان درستها كما يتم باستخدام طريقتين في انحياز مقسم الجهد هما :-

1. التحليل التقريبي Approximate Analysis
2. التحليل المضبوط Exact Analysis

التحليل التقريبي Approximate Analysis يتم وفق مايلي :-

1. يمكن حساب فولتية القاعدة VBبواسطة تطبيق قانون مقسم الجهد

$$VB = \frac{R2}{R1 + R2} VCC$$

2. شرط تطبيق التحليل التقريبي ان تكون $\beta R_E > 10R_2$ لتكون النتجة اكثر دقه فيما لوكانت اقل مما هو علية في العلاقه .
3. حساب فولتية الباعث (VE)حيث ان $V_E = V_B - V_{BE}$
4. حساب تيار الباعث (IE) حيث ان $IE = \frac{VE}{RE}$ وان $I_{CQ} = I_E$
5. حساب الفولتية بين الباعث والجامع VCE حيث ان $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_c + R_E)$

التحليل المضبوط Exact Analysis ويتم وفق مايلي :-

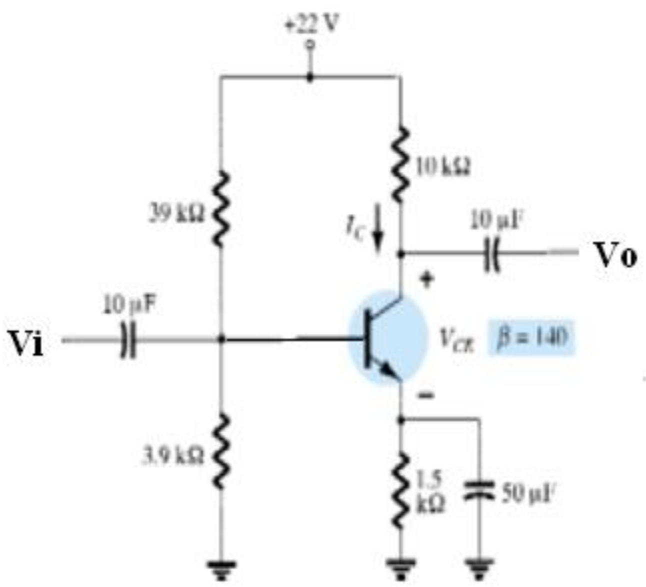
1. استبدال فولتية المصدر بدائرة قصر لحساب المقاومة المكافئة (R_{th}) حيث ان $R_{th} = R_1 // R_2$
2. حساب فولتية ثفنن (Eth)حيث ان $Eth = VB = \frac{R2}{R1 + R2} VCC$
3. بتطبيق قانون KVL حيث ان $E_{th} - I_B R_{th} - V_{BE} - I_E R_E = 0$
4. وبالتعويض عن قيمة I_Eحيث ان $I_E = (\beta + 1) I_B$في الفقره (3)
5. حساب تيار القاعدة (IB) من نتيجة التعويض اعلاه حيث ان :-

$$IB = \frac{Eth - VBE}{Rth + (\beta + 1)IE}$$

6. حساب VCEحيث ان $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_c + R_E)$

مثال EXM

احسب فولتية VCEو IC لدائرة ربط الترانزستور انحياز مقسم الجهد الموضحة ادناه بطرقتين التحليل التقريبي والتحليل المضبوط



Solution

Exact Analysis

$$R_{Th} = R_1 \| R_2$$

$$= \frac{(39\ k\Omega)(3.9\ k\Omega)}{39\ k\Omega + 3.9\ k\Omega} = 3.55\ k\Omega$$

$$E_{Th} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}$$

$$= \frac{(3.9\ k\Omega)(22\ V)}{39\ k\Omega + 3.9\ k\Omega} = 2\ V$$

$$I_B = \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E}$$

$$= \frac{2\ V - 0.7\ V}{3.55\ k\Omega + (141)(1.5\ k\Omega)} = \frac{1.3\ V}{3.55\ k\Omega + 211.5\ k\Omega}$$

$$= 6.05\ \mu A$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$= (140)(6.05\ \mu A)$$

$$= \mathbf{0.85\ mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

$$= 22\ V - (0.85\ mA)(10\ k\Omega + 1.5\ k\Omega)$$

$$= 22\ V - 9.78\ V$$

$$= \mathbf{12.22\ V}$$

Approximate Analysis

$$\beta R_E \geq 10R_2$$
$$(140)(1.5\ \text{k}\Omega) \geq 10(3.9\ \text{k}\Omega)$$
$$210\ \text{k}\Omega \geq 39\ \text{k}\Omega$$

$$V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{(3.9\ \text{k}\Omega)(22\ \text{V})}{39\ \text{k}\Omega + 3.9\ \text{k}\Omega} = 2\ \text{V}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2\ \text{V} - 0.7\ \text{V} = 1.3\ \text{V}$$

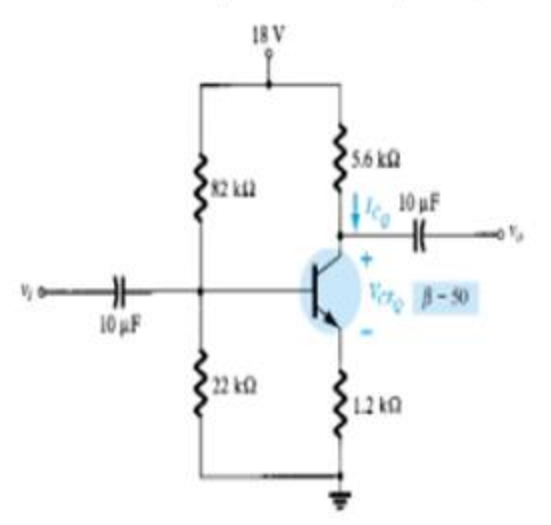
$$I_{CQ} \cong I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1.3\ \text{V}}{1.5\ \text{k}\Omega} = \mathbf{0.867\ mA}$$

compared to 0.85 mA with the exact analysis. Finally,

$$V_{CE_Q} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 22\ \text{V} - (0.867\ \text{mA})(10\ \text{kV} + 1.5\ \text{k}\Omega) = 22\ \text{V} - 9.97\ \text{V} = \mathbf{12.03\ V}$$

(H W) EXAMPLE مثال

لدائرة انحياز مقسم الجهد الموضحة ادناه باستخدام طريقتي التحليل التقريبي والمضبوط حددمستوى تيار ICQ وفولتية CEQ



Solution

Exact Analysis

$$\beta R_E \geq 10R_2$$

$$(50)(1.2\ \text{k}\Omega) \geq 10(22\ \text{k}\Omega)$$

$$60\ \text{k}\Omega \ngeq 220\ \text{k}\Omega$$ (الشرط غير متحقق)

$$R_{Th} = R_1 \| R_2 = 82\ \text{k}\Omega \| 22\ \text{k}\Omega = 17.35\ \text{k}\Omega$$

$$E_{Th} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{22\ \text{k}\Omega(18\ \text{V})}{82\ \text{k}\Omega + 22\ \text{k}\Omega} = 3.81\ \text{V}$$

$$I_B = \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E} = \frac{3.81\ \text{V} - 0.7\ \text{V}}{17.35\ \text{k}\Omega + (51)(1.2\ \text{k}\Omega)} = \frac{3.11\ \text{V}}{78.55\ \text{k}\Omega}$$

$$= 39.6\ \mu\text{A}$$

$$I_{C_Q} = \beta I_B = (50)(39.6\ \mu\text{A}) = \mathbf{1.98\ mA}$$

$$V_{CE_Q} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

$$= 18\ \text{V} - (1.98\ \text{mA})(5.6\ \text{k}\Omega + 1.2\ \text{k}\Omega)$$

$$= \mathbf{4.54\ V}$$

Approximate Analysis

$$V_B = E_{Th} = 3.81\ \text{V}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 3.81\ \text{V} - 0.7\ \text{V} = 3.11\ \text{V}$$

$$I_{C_Q} \cong I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{3.11\ \text{V}}{1.2\ \text{k}\Omega} = \mathbf{2.59\ mA}$$

$$V_{CE_Q} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

$$= 18\ \text{V} - (2.59\ \text{mA})(5.6\ \text{k}\Omega + 1.2\ \text{k}\Omega)$$

$$= \mathbf{3.88\ V}$$

التأثيرات الحرارية على عمل الترانزستور
Thermal Consideration

الترانزستور يجب ان يبقى ضمن حدود درجات الحراره المسموح بها حتى لايتعرض للتلف لذلك تتوخى الشركات المصنعه اقصى درجات الحذر في المحافظه على سخونة الترانزستوروذلك بتشتيت الحراره المتولده نتجة القدره المبدده باستخدام العديد من التقنيات وبالتالي المحافظه علية من التهشم .
والحراره المتولده نتتج معضمها من وصلة الجامع – القاعده بينما يمكن اهمال الحرارة المتولدة بين وصلة الباعث – القاعدة .
ويتم سحب السخونة بالاعتماد على مبدأايجاد نقطتين بدرجات حراره مختلفة حيث يتم انتقال الحراره من النقطة الاكثر سخونة الى النقطة الاوطأ حيث تعتمد نسبة سريان الحرارة بين النقطتين على :-

1. **الفرق بين درجات الحراره**
2. **طبيعة الوسط بين النقطتين**

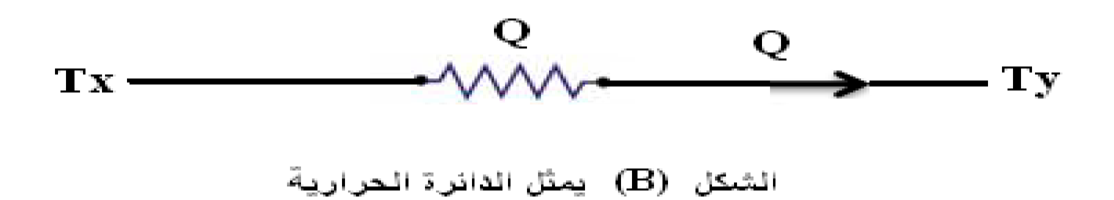
وهذا الشيء يشبة عملية سريان التيار الكهربائي في موصل وكما موضح بالشكل (A)و (B) الذي يبين المقارنة بين الدائرة الكهربائية والدائرة الحرارية



انواع مختلفة من المشتتات الحرارية (Heat Sinks)



الشكل (A) يمثل الدائرة الكهربائية



الشكل (B) يمثل الدائرة الحرارية

حيث ان(Tx – Ty) يمثلان فرق درجات الحراره بين النقطتين x, y
ويمكن توضيح قانون اوم للدائرة الحرارية بالعلاقة التالية :-

$$Qxy = \frac{Tx - Ty}{PD}$$

حيث ان Qxyهي المقاومه الحرارية مقاسة بدرجات الحراره لكل واط بين x,y
وان PDهي القدره الحرارية المشتته بالواط بين x,y

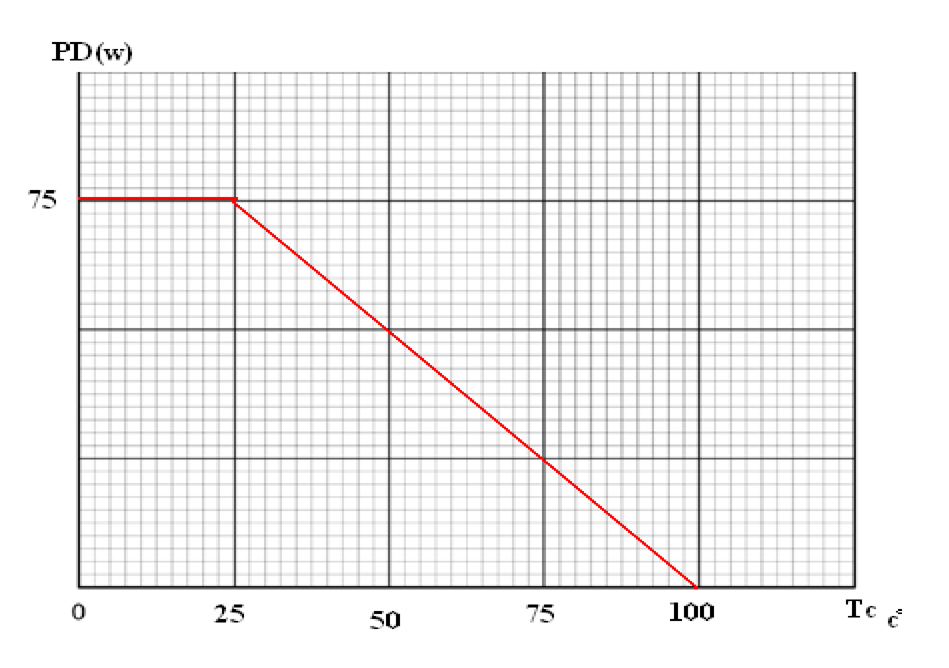
في المواد شبة الموصلة تسري الحرارة المتولده من الوصلة الى الهيكل الخارجي ومن ثم الى المحيط الجوي حيث ان هناك مقاومه حراريه من الوصلة الى الشاصي (الهيكل) يرمز لها ب (Qjc)وايضا‘‘ مقاومه حرارية بين الشاصي والمحيط الخارجي يرمز لها ب(Qca). وبما انه لايمكن قياس درجة حرارة الوصلة مباشرة‘‘ فان المصانع تقدم منحنيات تربط بين القدره والحراره مثل ماموضح بالشكل (d) ويمكن حساب درجة حرارة الوصلة من العلاقة ادناه

$$Tj = Tc + Qjc * PD$$

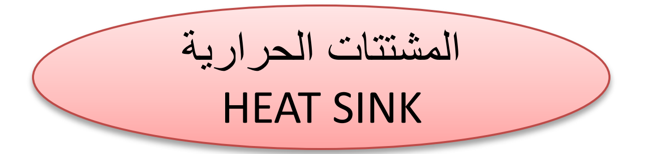
Tj Qjc Tc Qca Ta

الشكل (C) يمثل الدائرة الحرارية من الوصلة الى الهواء

المنحني يوضح ان فقدان 75w عندما تكون درجة حرارة الهيكل (Tc)تساوي 25c وكلما كانت درجة حرارة الهيكل اكبر فان قابلية فقدان الترانزستور للحرارة سوف تقل



شكل (d) يوضح منحني العلاقة بين القدره والحراره للترانزستور



وهي سقطعة من الالمنيوم تلصق بغلاف الترانزستور او أي عنصر الكتروني لزيادة المساحه السطحية للسماح بتسريب الحراره من العنصر الى المشتت ثم الى المحيط بسهوله وعادة توصل المشتتات الحرارية بالشاصي (الارضي) للدوائر الالكترونية ويمكن حساب درجة حرارة الغلاف الخارجي هو الهيكل من العلاقة الرياضية التالية :-

= TA +Qca*PD

حيث ان :- TAهي درجة حرارة المحيط وQcaالمقاومه الحرارية بين الغلاف الخارجي والهواء

Tcوتثبت المشتتات الحرارية على الترانزستورات بربط الجامع كهربائيا" الى الشاصي لكي يؤدي بتوصيل الحرارهبشكل جيد من الوصلة الى الشاصي ويستعمل مع المشتت الحراري عازل من المايكا او التفلون .

وهناك جداول خاصة بالمشتتات الحرارية تحدد خواصها الحرارية وعلاقة المقاومه الحرارية بجريان الهواء

Example مثال

احسب اعظم قدرة مبدده لترانزستور يحمل الخواص التالية

1. درجة حرارة الهواء المحيط 30C ∘
2. المقاومة الحرارية بين الوصلة والهيكل (Qjc) تساوي 1c/w
3. المقاومة الحرارية بين الهيكل والمشتت الحراري (Qc-hs) تساوي 0.4C/w
4. المقاومةالحرارية بين المشتت والهواء (Qhs-a)تساوي 1C/w
5. أرسم الدائرة الحرارية المكافئة

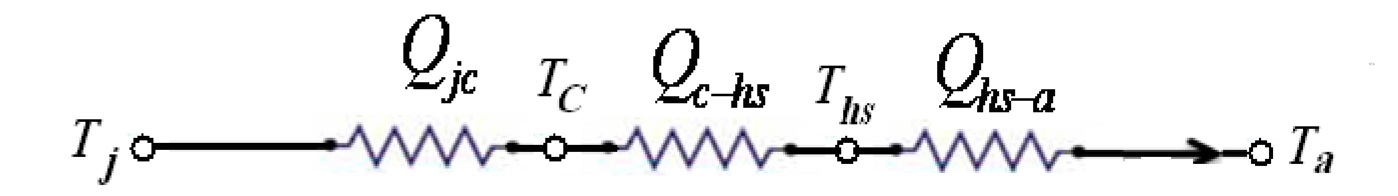
Solution

$$Q_{ja} = Q_{jc} + Q_{c-hs} + Q_{hs-a}$$

Q_{ja} = 1+0.4+1=2.4C/w

أعظم درجة حرارة للوصلة(100C)

$$Pd = \frac{T_j - T_a}{Q_{ja}} = \frac{100-30}{2.4} = 29.2w$$



الدائرة الحرارية المكافئـــــــــــة



التكبير Amplification

وهي عملية زيادة شدة الاشار بسبب معدل التغيرات في تيار الادخال والتي تنعكس على دائرة الاخراج للمكبر بالاعتماد علي مقدار فولتية الانحياز ومعامل التكبير للترانزستور (β)وهذا يحدث في المنطقة الفعالة . (Active Region)

المكبـــــــــر Amplifier

دائرة الكترونية تستعمل لزيادة التيار - الفولتية او القدرة لاشارة الادخال بالاعتماد على هيئة الربط (Configuration).
والرسم البياني لخواص اخراج مكبر الباعث المشترك يوضح التغيرات التي تحدث لاشارة الادخال وانعكاسها على كل من تيار الجامع (Ic) والفولتية (VCE).

أنواع المكبرات Type of Amplifier

هناك العديد من انواع المكبرات يمكن تطبيقها في الدوائر الالكترونية اهمها مايلي :-

1. **مكبرات الاشارة الصغيرة Small-signal Amplifiers**

وهي المكبرات التي تصمم لتكبير الاشارة ذات المستويات المنخفضه والتي تتراوح قيمتها من (1v-اقل واحد فولت)والتي غلبا" ماتستخدم في المراحل الابتدائية من مستقبلات الاشاره وهذا النوع من المكبرات يصمم لتقليل تأثير الضوضاء على الاشاره المراد تكبيرها .

2. **مكبرات الاشاره الكبيره Large – Signal Amplifier**

وهي المكبرات التي تصمم لتكبير الاشارات التي تتراوح قيمتها من (1vالى اثر من 100v) وغالبا" ماتستخدم في المراحل النهائية لتكبير الاشارة أي قبل محولات الطاقة (Transducer) .

3. **مكبرات الاستجابة الترددية Frequency Response Amplifier**

وهي المكبرات التعتمد على متطلبات الدائرة الالكترونية من حيز الترددات (B.W)المراد تكبيراها .

تصنيف المكبرات Amplifier Classification

يمكن تصنيف المكبرات وفق الاعتبارات التالية

❖ **بالاعتماد على الهيئة العامه للربط (Configuaration)**

حيث تقسم المكبرات وفق هذا الاعتبار الى ثلاثة انواع هي وحسب الشكل الموضحةادناه :-

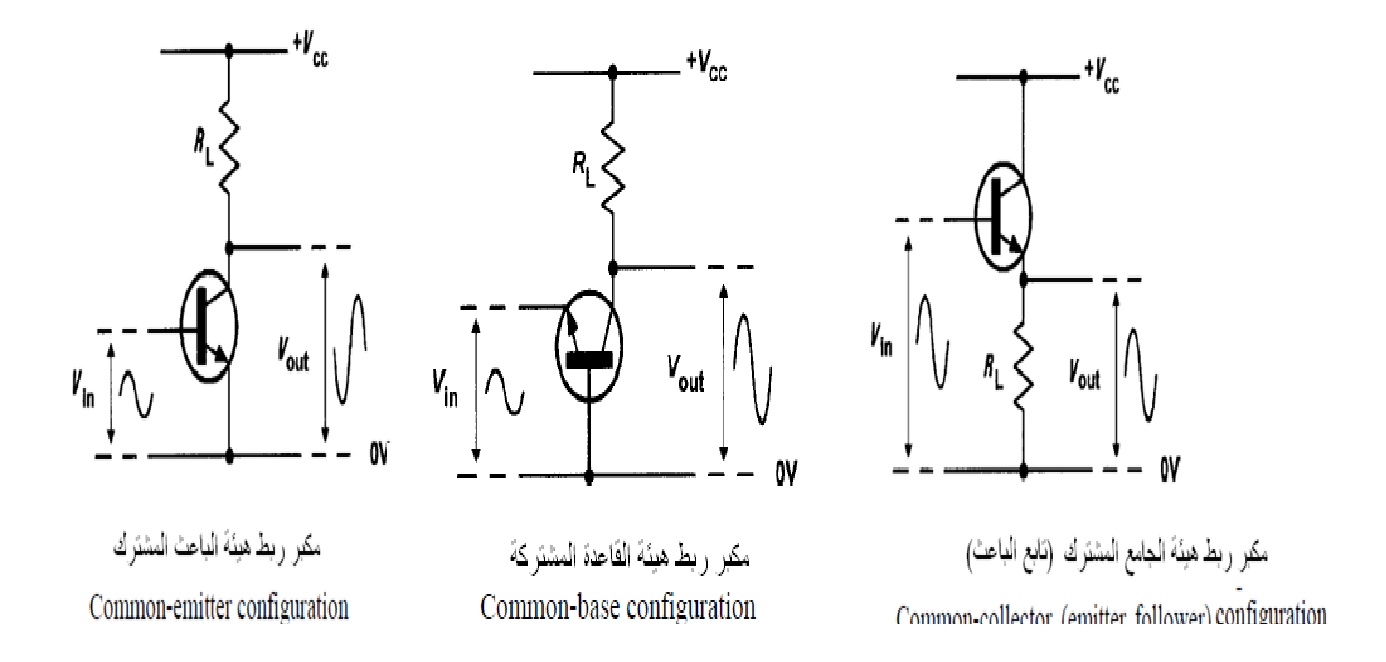
1. **مكبر الباعث المشترك (CE)**
2. **مكبر الجامع المشترك (CC)**
3. **مكبر القاعدة المشتركة (CB)**

❖ **بالاعتماد علي دورة الانحيازحيث تقسم الى مايلي:-**

1. **الصنف (A) Class**
2. **الصنف (B) Class**
3. **الصنف Class (AB)**
4. **الصنف (C) Class**

❖ **بالاعتماد الاستجابة الترددية**

1. **مكبر التردد السمعية Audio Frequency(AF) Amplifier**
2. **مكبرالترددالوسيط Intermediate Frequency (IF) Amplifier**
3. **مكبر التردد الراديوي Radio Frequency (RF) Amplifier**



مكبر ربط هيئة الباعث المشترك
Common-emitter configuration

مكبر ربط هيئة القاعدة المشتركة
Common-base configuration

مكبر ربط هيئة الجامع المشترك (تابع الباعث)
Common-collector (emitter follower) configuration

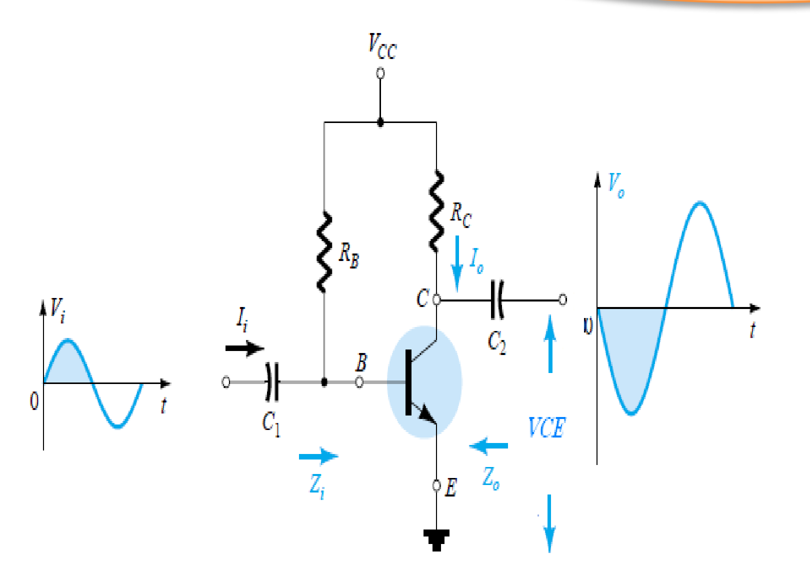
Gain

Audio frequency
Wideband
Radio frequency

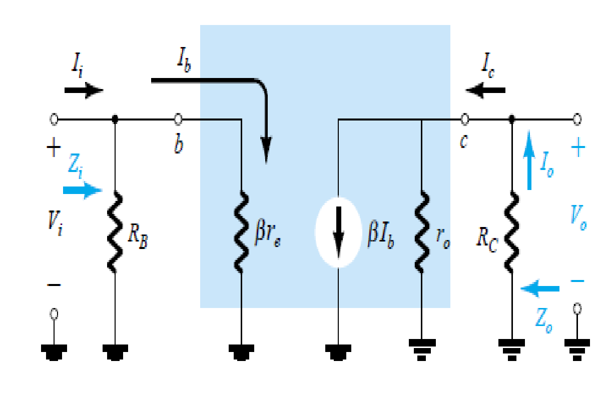
1 10 100 1k 10k 100k 1M 10M 100M 1G

Frequency (Hz)

مكبر الباعث المشترك
Common Emitter(CE) Amplifier



دائرة مكبر الباعث المشترك (CE-Amplifier)



الدائرة المكافئة لمكبر الباعث المشترك Equivalent Circuit -CE-Amp

في هذا النوع من الربط تكون القاعدة هي عنصر السيطرة(السوق) حيث ان اشارة الادخال تسلط على طرفي القاعدة والباعث فيما تاخذ اشارة الاخراج من طرفي الجامع والباعث وبذلك يكون طرف الباعث هو الطرف المشترك بين الادخال والاخراج للمكبر .

ويمكن تلخيص عمل الدائرة بما يلي:-

خلال تطبيق النصف الموجب من اشارة الادخال فأن الفولتية (VBE) تزداد تبعا لقطبية انحياز القاعده الموجبة (الانحياز الامامي لوصلة B/E) مما يؤدي لزيادة(Ib) تبعاً" لذلك يزداد (Ic) بحاصل ضرب β وعلية فأن فرق الجهد (Ic * Rc) سوف يزداد وبناء" على ذلك سوف تقل الفولتية (VCE) لذالك سوف يظهر النصف السالب في اشارة الاخراج وهذا يعني فرق الطور بين اشارة الادخال والاخراج يساوي 180 درجة .وكما موضح في الشكل الموجي الموضح اعلاه .

التحليل الرياضي لدائرة مكبر الباعث المشترك Analysis (CE) - Amplifier

1 - ممانعة الادخال Input Impedance (Zi)

$$Z_i = R_B \| \beta r_e$$

$$RB >> \beta r_e$$

$$Z_i \cong \beta r_e$$

2 - ممانعة الاخراج (Zo) Out Put Impedance

$$Z_o \cong R_C$$

$$Z_o = R_C \| r_o$$

3- ربح الفولتية Voltage Gain

$$V_o = -\beta I_b(\ r_o)$$

الاشاره السالبة تشير الى فرق الطور بين اشارتي الادخال والاخراج

$$I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

$$V_o = -\beta\left(\frac{V_i}{\beta_{re}}\right)(\ r_o)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{(\ r_o)}{r_e}$$

$$A_v = -\frac{(\ r_o)}{r_e}$$

4- ربح التيار Current Gain

$$A_i = \frac{I_o}{I_i}$$

$$A_i \cong \beta$$

5- ربح القدرة Power Gain (Ap)

$$Ap = Av * Ai$$

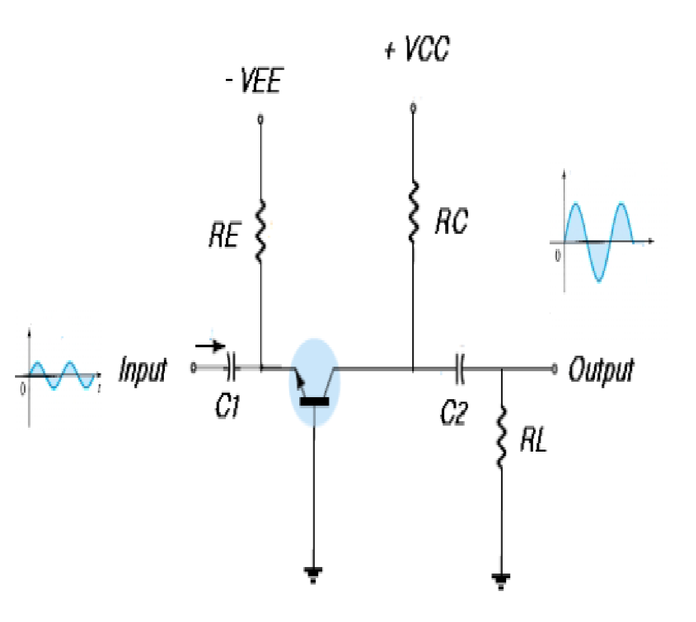
Gp=10Log Ap dB

خواص مكبر الباعث المشترك Characteristics of (CE) Amplifier

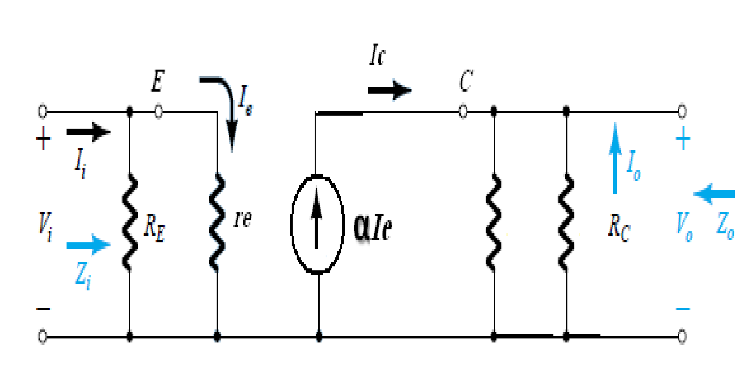
مكبرالباعث المشترك يملك الخواص التاليه :-

1. ممانعة ادخال منخفضة (معتدلة) تتراوح بين (1kΩ-------2kΩ)
2. ممانعة اخراج نوعا" ما عالية اكثر من (50kΩ)
3. ربح تيار(*Ai*) مساوي ل(β)ويتراوح من (50------300)
4. ربح بالفولتية (*Av*) عالي يصل الى (1500)
5. ربح بالقدره (*Ap*) عالي يصل الى (10000) او (40dB)
6. فرق في الطور بين اشارة الادخال والاخراج مقداره 180درجة
7. يستخدم مكبر الباعث المشترك بشكل واسع في مكبرات الفولتية والتيار ويمتاز بأستقرار ممانعة الادخال والاخراج

مكبر القاعدة المشتركة Common Base(CB) Amplifier



دائرة ربط مكبر القاعدة المشتركة (CB)



الدائرة المكافئة لمكبر القاعدة المشتركة (Equivalent Circuit -CB)

في هذا النوع من ربط المكبرات يكون عنصر السيطره (السوق) وان الشارة الادخال تسلط بين طريفي الباعث والقاعدة وتأخذ اشارة الاخراج مابين طرفين الجامع والقاعدة حيث تكون وصلة (B/E) في حالة انحياز امامي بواسطة VEEفيما تكون الوصلة (B/C) في حالة انحياز عكسي عن طريق VCC.
ويمكن تلخيص عمل الدائرة بما يلي :-
خلال النصف الموجب من اشارة الادخال فأن النحياز الامامي يقل بسبب ان (VBE) هي سا لبه بالنسبة للارضي وعلية فأن (IB) يقل يتبع ذلك نقصان في (Ic , Ie) وعلية فأن فرق الجهد (VCB) لهذا السبب فأن اشارة الاخراج تكون بنفس طور اشارة الادخال .

1. Input impedance(Zi) ممانعة الادخال
2. Out put impedance(Zo) ممانعة الاخراج

$$Zi = re // RE$$

$$Zo = Rc$$

$$or$$

$$Zo = Rc // RL$$

1. Gain Current (Ai) ربح التيار
2. Gain Voltagr (Av) ربح الفولتية

$$Ai = \frac{ic}{ie} = \alpha$$

$$Av = \frac{vout}{vin}$$

$$vi = ie * zi$$

$$vi = (ib + ic) * zi$$

$$vi = (ib + ib\beta) * zi$$

$$vi = ib(1 + \beta) * zi$$

$$vo = ic * zo$$

$$vo = ib\beta * zo$$

$$\therefore Av = \frac{vo}{vi} = \frac{\beta ib * zo}{(1 + \beta) ib * zi}$$

$$\because \frac{\beta}{1 + \beta} \cong 1$$

$$\therefore Av = \frac{Zo}{Zi}$$

5. ربح القدرة Gain Power (Ap)

$$Ap = Av * Ai$$

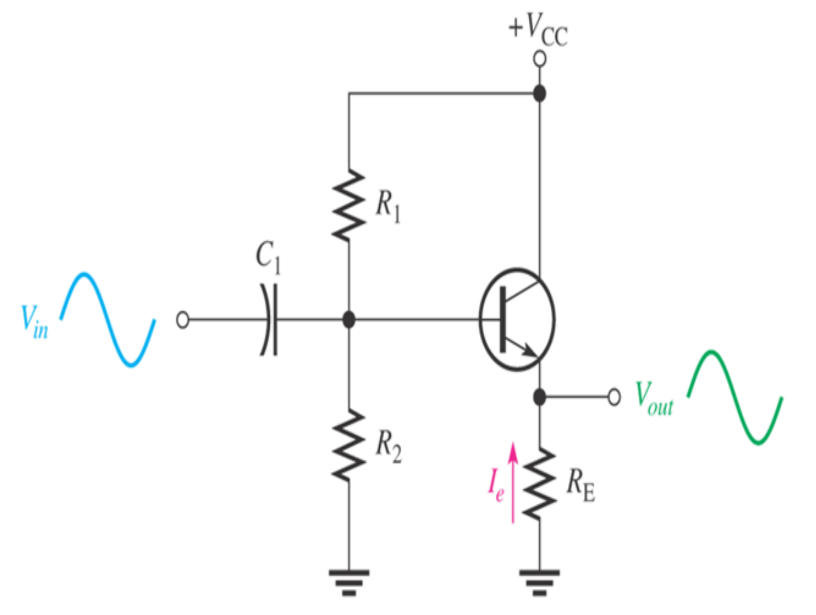
$$Gp = 10 Log_{10} Ap (dB)$$

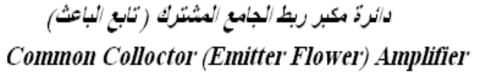
خواص مكبر القاعدة المشتركة Characteristics of (CB) Amplifier

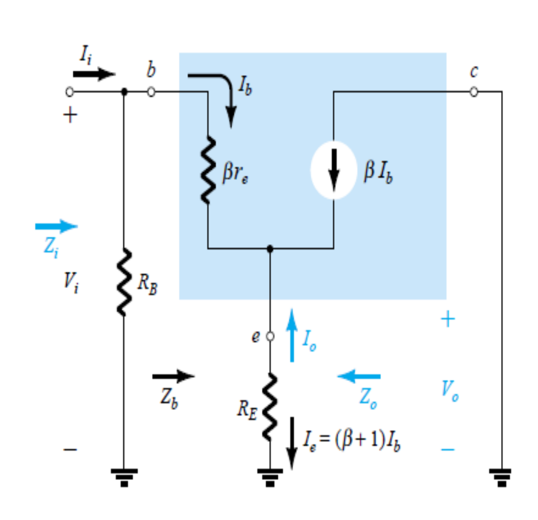
من خواص مكبر ربط القاعدة المشتركة مايلي:-

1. ممانعة ادخال قليله تتراوح من (30----150) اوم
2. ربح تيار قليل يساوي (α)≈1
3. ممانعة اخراج عالية اكبر من 500KΩ
4. ربح بالفولتية عالي يصل الى (1500)
5. ربح بالقدره عالي
6. لايوجدفرق بالطور بين اشارتي الادخال والاخراج
7. استقرارية عالية لتيار الجامع مع تغير درجات الحرار
8. من اهم استخدامات مكبر القاعده هو التوافق بين ممانعات الادخال المنخفضة وممانعة الاخراج

مكبر الجامع المشترك (تابع الباعث)
Common Base-CB (Emitter Flower)Amplifier




دائرة مكبر ربط الجامع المشترك (تابع الباعث)
Common Collector (Emitter Flower) Amplifier



الدائرة المكافئة لمكبر ربط الجامع المشترك (تابع الباعث)
Equivalent Circuiteof(Cc)

(Emitter) - Analysis of (Cc) Amplifier التحليل الرياضي لدائرة مكبر الجامع المشترك Flower

1. Input impedance(Zi) ممانعة الادخال

$$Zi = RB \,//\, \beta(re + ro)$$
$$RB >> \beta(re + ro)$$
$$re << ro$$
$$\therefore Zi = \beta ro$$
$$ro = RE \,//\, RL$$

2. Out put impedance(Zo) ممانعة الاخراج

$$Zo = RE \,//\, RL$$

3. Gain Current (Ai) ربح التيار

$$Ai = \frac{ie}{ib} = (1 + \beta)$$

4. Gain Voltage (AV) ربح الفولتية

$$Vi = ib * zi = ib * \beta(re + ro)$$
$$Vo = ie * ro$$
$$\because ie = ic$$
$$\therefore ie = \beta ib$$
$$Vo = \beta ib * ro$$
$$AV = \frac{vo}{vi} = \frac{\beta ib * zi}{ib * \beta(re + zi)}$$
$$AV = \frac{zo}{re + zi}$$
$$re << zi$$
$$Av = \frac{zi}{zi} = 1$$

5. Power Gain (Ap) ربح القدره

$$Ap = Av * Ai$$
$$Ap = 1 * (1 + \beta) \cong \beta$$

Characteristics of (Cc) Amplifier خواص مكبر الجامع المشترك

1. ممانعة ادخال عالية جدا'' تتراوح من (20KΩ-------500KΩ)
2. ممانعة اخراج منخفضه تتراوح من (50 Ω------1k Ω)
3. ربح تيار عالــــــــــــي(500------50)
4. ربح بالفولتية منخفض يساوي (1)
5. ربح بالقدره منخفض
6. لايوجد فرق بالطور بين اشارتي الادخال والاخراج
7. يستعمل للتوافق بين الممانعات وفي دوائر العزل (Isolation)ودوائر المفاتيح

BJT amplifier circuit configurations جدول يوضح مقارنه بين هيئات ربط المكبرات

Parameter المعاملات		*Mode of operation* نموذج ربط المكبر	
	Common emitter	*Common collector*	*Common base*
Voltage gain ربح الفولتية	medium/high (40)	unity (1)	high (200)
Current gain ربح التيار	high (200)	high (200)	unity (1)
Power gain ربح القدرة	very high (8,000)	high (200)	high (200)
Input resistance ممانعة الادخال	medium (2.5 kΩ)	high (100 kΩ)	low (200 Ω)
Output resistance ممانعة الاخراج	medium/high (20 kΩ)	low (100 Ω)	high (100 kΩ)
Phase shift فرق الطور	180°	0°	0°
Typical applications التطبيقات العملية	General-purpose AF and RF amplifiers	Impedance matching, input and output stages	RF and VHF/UHF amplifiers

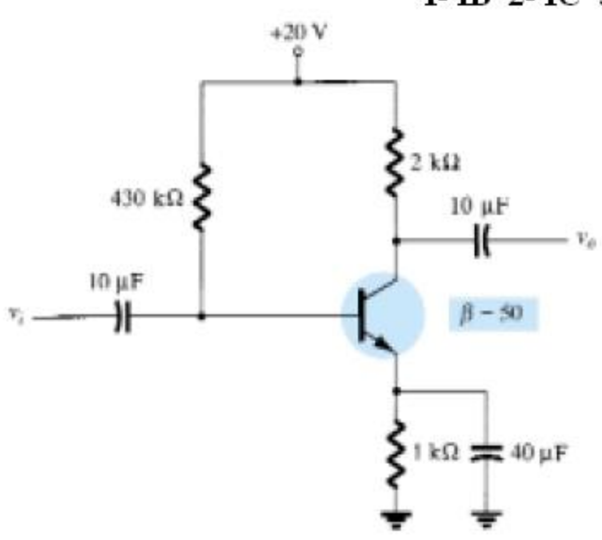
EXAMPLES & PROBLEMS أمثله ومسائل



EXAMPLE مثال

في الدائرة الموضحة في الشكل ادناه احسب

1- IB 2- IC 3- VCE 4-VC 5 VE 6-VB 7-VBC



Solution

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} = \frac{20\text{ V} - 0.7\text{ V}}{430\text{ k}\Omega + (51)(1\text{ k}\Omega)}$$

$$= \frac{19.3\text{ V}}{481\text{ k}\Omega} = \mathbf{40.1\ \mu A}$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$= (50)(40.1\ \mu\text{A})$$

$$\cong \mathbf{2.01\ mA}$$

$$V_B = V_{BE} + V_E$$

$$= 0.7\text{ V} + 2.01\text{ V}$$

$$= \mathbf{2.71\ V}$$

$$V_{BC} = V_B - V_C$$

$$= 2.71\text{ V} - 15.98\text{ V}$$

$$= \mathbf{-13.27\ V}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

$$= 20\text{ V} - (2.01\text{ mA})(2\text{ k}\Omega + 1\text{ k}\Omega) = 20\text{ V} - 6.03\text{ V}$$

$$= \mathbf{13.97\ V}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

$$= 20\text{ V} - (2.01\text{ mA})(2\text{ k}\Omega) = 20\text{ V} - 4.02\text{ V}$$

$$= \mathbf{15.98\ V}$$

$$V_E = V_C - V_{CE}$$

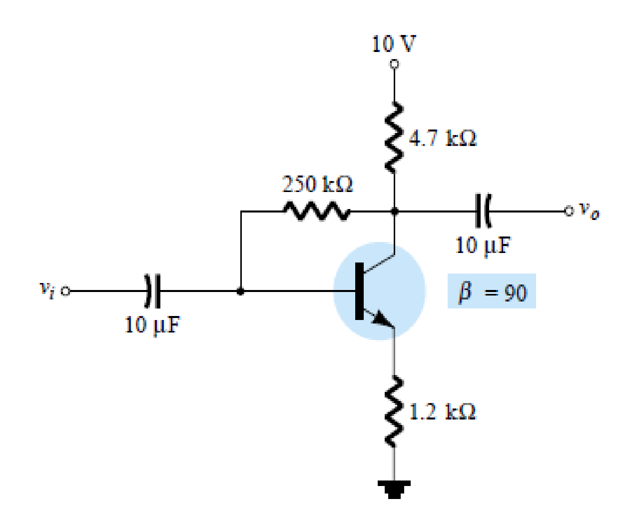
$$= 15.98\text{ V} - 13.97\text{ V}$$

$$= \mathbf{2.01\ V}$$

EXAMPLE مثال

حدد مستويات التيار والفولتية الساكنه (VCEq, Icq)

للشبكة الموضحة بالشكل ادناه



Solution

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$

$$= \frac{10 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{250 \text{ k}\Omega + (90)(4.7 \text{ k}\Omega + 1.2 \text{ k}\Omega)}$$

$$= \frac{9.3 \text{ V}}{250 \text{ k}\Omega + 531 \text{ k}\Omega} = \frac{9.3 \text{ V}}{781 \text{ k}\Omega}$$

$$= 11.91\ \mu\text{A}$$

$$I_{C_Q} = \beta I_B = (90)(11.91\ \mu\text{A})$$

$$= \mathbf{1.07\ mA}$$

$$V_{CE_Q} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

$$= 10 \text{ V} - (1.07 \text{ mA})(4.7 \text{ k}\Omega + 1.2 \text{ k}\Omega)$$

$$= 10 \text{ V} - 6.31 \text{ V}$$

$$= \mathbf{3.69\ V}$$

With Best I wishes

EngHassan65@yahoo.com

Problems

في الدائرة الموضحة ادناه أحسب

Ib , Vc

18 V

3.3 kΩ

10 μF

91 kΩ R_1

110 kΩ R_2

10 μF

10 μF

v_i

v_o

$\beta = 75$

510 Ω

50 μF

Solution

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$

$$= \frac{18\text{ V} - 0.7\text{ V}}{(91\text{ k}\Omega + 110\text{ k}\Omega) + (75)(3.3\text{ k}\Omega + 0.51\text{ k}\Omega)}$$

$$= \frac{17.3\text{ V}}{201\text{ k}\Omega + 285.75\text{ k}\Omega} = \frac{17.3\text{ V}}{486.75\text{ k}\Omega}$$

$$= 35.5\ \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$= (75)(35.5\ \mu\text{A})$$

$$= 2.66\text{ mA}$$

$$V_C = V_{CC} - I'_C R_C \cong V_{CC} - I_C R_C$$

$$= 18\text{ V} - (2.66\text{ mA})(3.3\text{ k}\Omega)$$

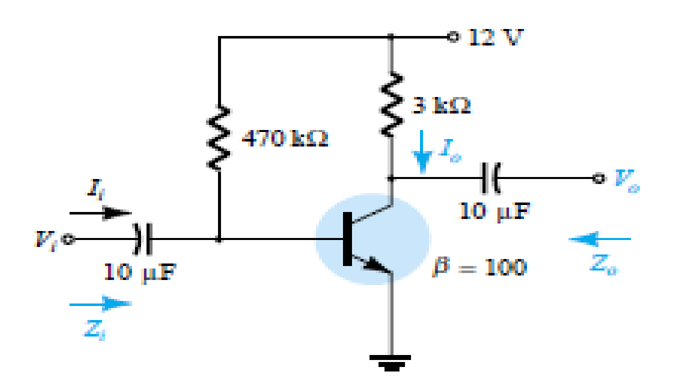
$$= 18\text{ V} - 8.78\text{ V}$$

$$= 9.22\text{ V}$$

EXAMPLE مثال

في الدائرة الموضحة بالشكل ادناه أحسب

re , Zi , Zo ,Av , Ai



Solution

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12\text{ V} - 0.7\text{ V}}{470\text{ k}\Omega} = 24.04\ \mu\text{A}$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B = (101)(24.04\ \mu\text{A}) = 2.428\text{ mA}$$

$$r_e = \frac{26\text{ mV}}{I_E} = \frac{26\text{ mV}}{2.428\text{ mA}} = \mathbf{10.71\ \Omega}$$

$$\beta r_e = (100)(10.71\ \Omega) = 1.071\text{ k}\Omega$$

$$Z_i = R_B \| \beta r_e = 470\text{ k}\Omega \| 1.071\text{ k}\Omega = \mathbf{1.069\text{ k}\Omega}$$

$$Z_o = R_C = \mathbf{3\text{ k}\Omega}$$

$$Ai = \beta = 100$$

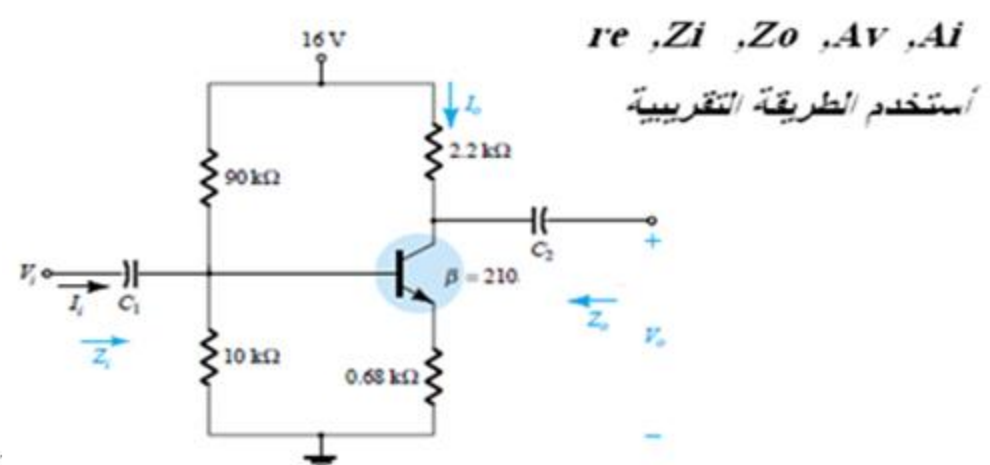
$$Av = -\frac{RC}{re} = \frac{3k\Omega}{10.71} = -280.11$$

EXAMPLE مثال

في الدائرة الموضحة أدناه أحسب

re ,Zi ,Zo ,Av ,Ai

أستخدم الطريقة التقريبية



Soutioı

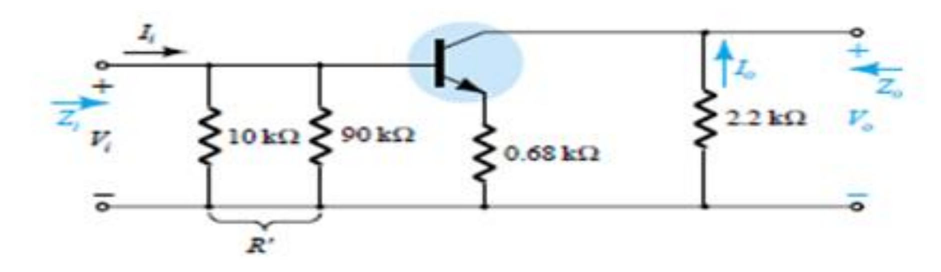
$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{10\ \text{k}\Omega}{90\ \text{k}\Omega + 10\ \text{k}\Omega}(16\ \text{V}) = 1.6\ \text{V}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 1.6\ \text{V} - 0.7\ \text{V} = 0.9\ \text{V}$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{0.9\ \text{V}}{0.68\ \text{k}\Omega} = 1.324\ \text{mA}$$

$$r_e = \frac{26\ \text{mV}}{I_E} = \frac{26\ \text{mV}}{1.324\ \text{mA}} = 19.64\ \Omega$$

$$R_B = R' = R_1 \| R_2 = 9\ \text{k}\Omega$$



$$Z_b \cong \beta R_E = 142.8\ \text{k}\Omega$$

$$Z_i = R_B \| Z_b = 9\ \text{k}\Omega \| 142.8\ \text{k}\Omega = \mathbf{8.47\ k\Omega}$$

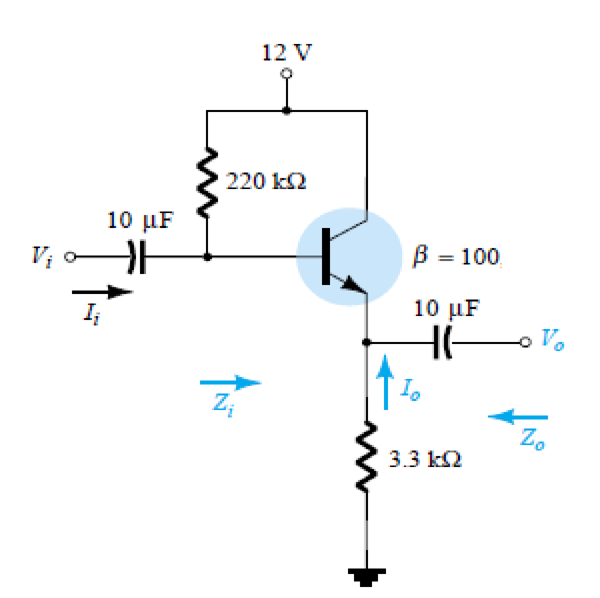
$$Z_o = R_C = \mathbf{2.2\ k\Omega}$$

$$Av = \frac{Zo}{re}\frac{2.2k\Omega}{19.64\Omega} = 112.016$$

$$Ai = \beta = 210$$

EXAMPLE مثال

في الدائرة الموضحة اداه احسب
re , Zi , Zo , AV , Ai ,



Solution

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

$$= \frac{12\text{ V} - 0.7\text{ V}}{220\text{ k}\Omega + (101)3.3\text{ k}\Omega} = 20.42\ \mu\text{A}$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B$$

$$= (101)(20.42\ \mu\text{A}) = 2.062\text{ mA}$$

$$r_e = \frac{26\text{ mV}}{I_E} = \frac{26\text{ mV}}{2.062\text{ mA}} = \mathbf{12.61\ \Omega}$$

$$Z_b = \beta r_e + (\beta + 1)R_E$$

$$= (100)(12.61\ \Omega) + (101)(3.3\text{ k}\Omega)$$

$$= 1.261\text{ k}\Omega + 333.3\text{ k}\Omega$$

$$= 334.56\text{ k}\Omega \cong \beta R_E$$

$$Z_i = R_B \| Z_b = 220\text{ k}\Omega \| 334.56\text{ k}\Omega$$

$$= \mathbf{132.72\text{ k}\Omega}$$

$$Z_o = R_E \| r_e = 3.3\text{ k}\Omega \| 12.61\ \Omega$$

$$= \mathbf{12.56\ \Omega} \cong r_e$$

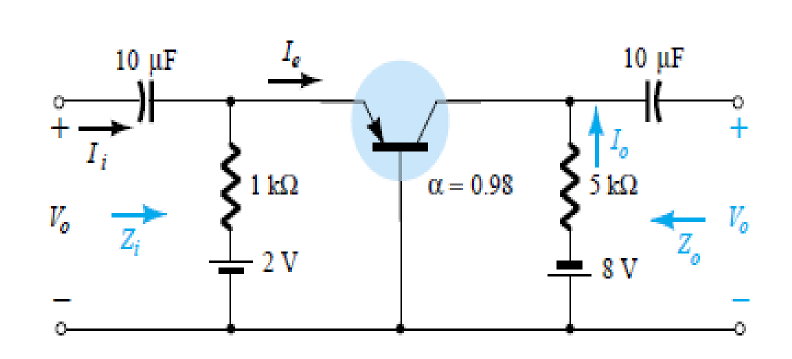
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_E}{R_E + r_e} = \frac{3.3\text{ k}\Omega}{3.3\text{ k}\Omega + 12.61\ \Omega}$$

$$= 0.996 \cong 1$$

EXAMPLE مثال

في دائرة المكبر الموضحة ادناه احسب

re , Zi , Zo , Av ,Ai



Solution

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{2\text{ V} - 0.7\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} = \frac{1.3\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} = 1.3\text{ mA}$$

$$r_e = \frac{26\text{ mV}}{I_E} = \frac{26\text{ mV}}{1.3\text{ mA}} = 20\ \Omega$$

$$Z_i = R_E \| r_e = 1\text{ k}\Omega \| 20\ \Omega$$
$$= 19.61\ \Omega \cong r_e$$

$$Z_o = R_C = 5\text{ k}\Omega$$

$$A_v \cong \frac{R_C}{r_e} = \frac{5\text{ k}\Omega}{20\ \Omega} = 250$$

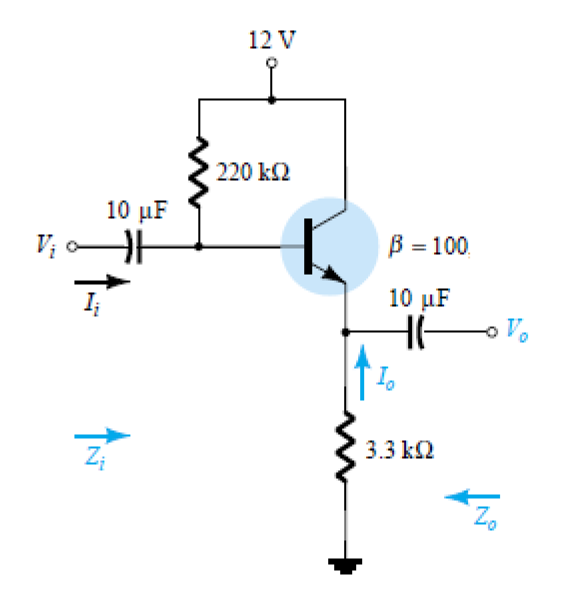
$$A_i = 0.98$$

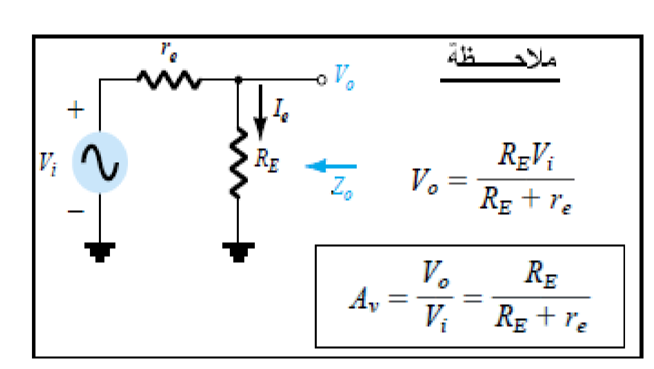
عن سيد البلغاء أمير المؤمنين علي (علية السلام) انه قال:-
((لاتظنن بكلمة خرجت من احد سوءا" وأنت تجد لها في الخير محتملا"))

EngHassan65@yahoo.com

EXAMPLE مثال

في الدائرة الموضحه ادناه احسب **re ,Zi ,Zo ,Av ,Ai**





$$V_o = \frac{R_E V_i}{R_E + r_e}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_E}{R_E + r_e}$$



Solution

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

$$= \frac{12\text{ V} - 0.7\text{ V}}{220\text{ k}\Omega + (101)3.3\text{ k}\Omega} = 20.42\ \mu\text{A}$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B$$

$$= (101)(20.42\ \mu\text{A}) = 2.062\text{ mA}$$

$$Z_b = \beta r_e + (\beta + 1)R_E$$

$$= (100)(12.61\ \Omega) + (101)(3.3\text{ k}\Omega)$$

$$= 1.261\text{ k}\Omega + 333.3\text{ k}\Omega$$

$$= 334.56\text{ k}\Omega \cong \beta R_E$$

$$Z_i = R_B \| Z_b = 220\text{ k}\Omega \| 334.56\text{ k}\Omega$$

$$= \mathbf{132.72\ k\Omega}$$

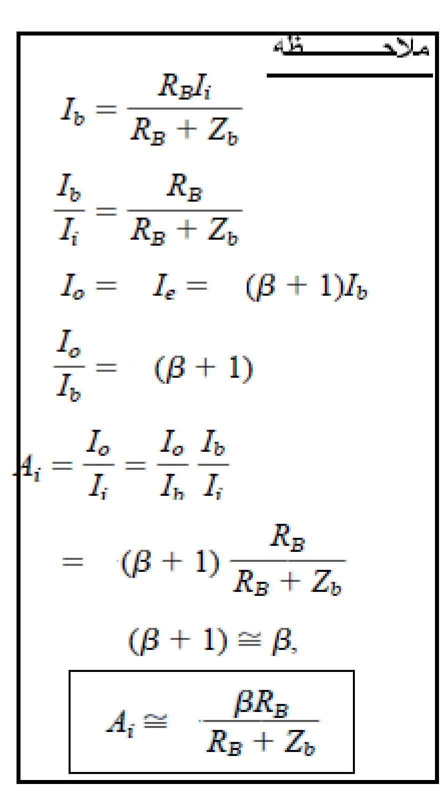
$$Z_o = R_E \| r_e = 3.3\text{ k}\Omega \| 12.61\ \Omega$$

$$= \mathbf{12.56\ \Omega} \cong r_e$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_E}{R_E + r_e} = \frac{3.3\text{ k}\Omega}{3.3\text{ k}\Omega + 12.61\ \Omega}$$

$$= 0.996 \cong 1$$

$$A_i \cong -\frac{\beta R_B}{R_B + Z_b} = \frac{(100)(220\text{ k}\Omega)}{220\text{ k}\Omega + 334.56\text{ k}\Omega} = \mathbf{39.67}$$



ملاحـــــظة

$$I_b = \frac{R_B I_i}{R_B + Z_b}$$

$$\frac{I_b}{I_i} = \frac{R_B}{R_B + Z_b}$$

$$I_o = I_e = (\beta + 1)I_b$$

$$\frac{I_o}{I_b} = (\beta + 1)$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_o}{I_b}\frac{I_b}{I_i}$$

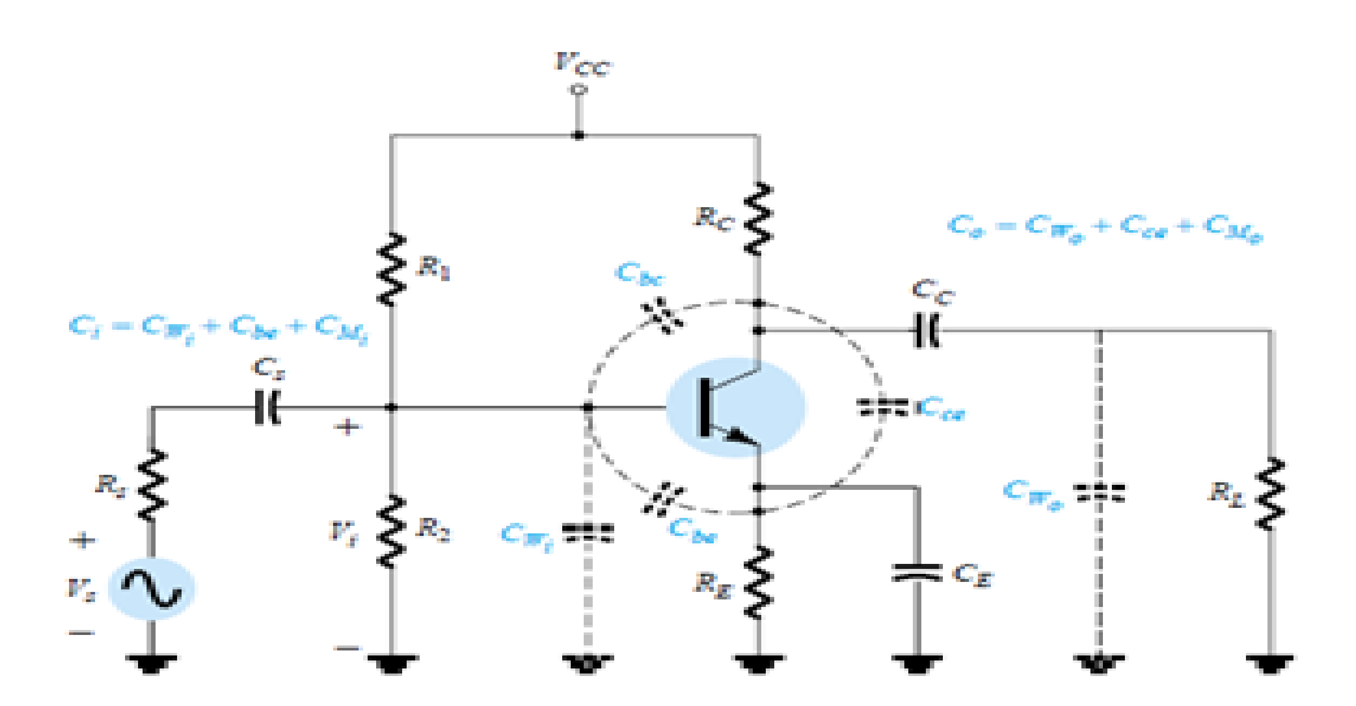
$$= (\beta + 1)\frac{R_B}{R_B + Z_b}$$

$$(\beta + 1) \cong \beta,$$

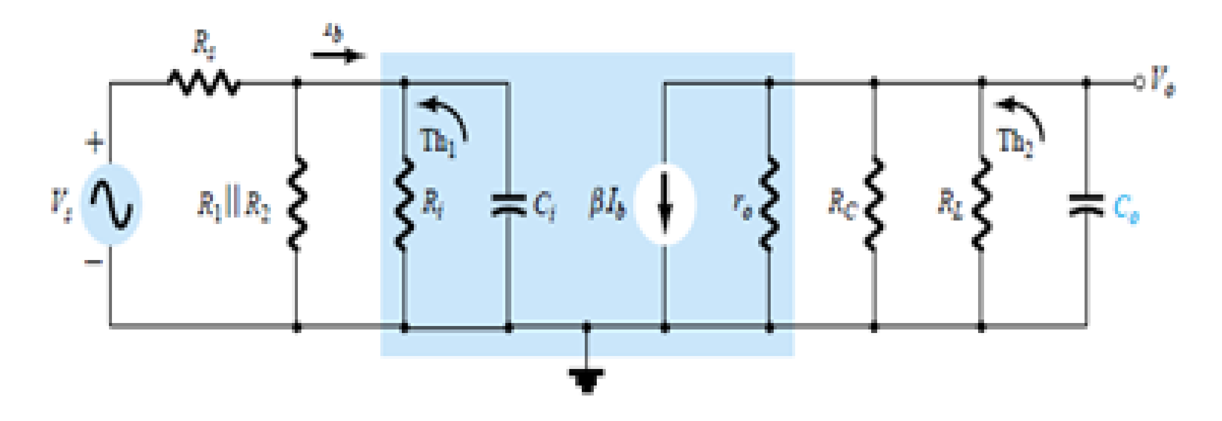
$$A_i \cong \frac{\beta R_B}{R_B + Z_b}$$

High – Frequency مكبرات الاستجابة الترددية العالية
Response Amplifier

المكبرات هي من أهم الدوائر الالكترونية لبناء نظام الاتصالات في كل من دوائر الارسال والاستقبال حيث أن اشارة المعلومات(Modulating Signal)
تحتاج الى قوه بالكيفية التي تقاوم بها ظروف الارسال بكافة انواعه ان كان عبر الاثير اوعبر الوسائط الاخرى .وفي مكبرات الاستجابة الترددية العاليه يكون هناك تأثير للمتسعات الذاتيه الموجوده بين اطراف الترانزستور اومايسمى بالمتسعات الشاردة أو الطفلية(Parastic Capcitance)
اضافة الى هذه المتسعات فان هناك تأثير اخر للتوصيلات السلكيه لدائرة المكبر اومايسمى بمتسعات الاسلاك(Wiring Capctance)والتي تكون في دائرتي ادخال واخراج المكبر .
كما ان استقرار دائرة المكبر والسيطره على مقدار التكبير يتطلب وجود تغذية عكسية (Feed back) .
وهنا يظهر تأثير متسعة في دائرة الادخال والاخراج للمكبر تسمى متسعة ميلر(Miller Capctance).
وعموما" تعتبر المتسعة (Cbe) اكبر المتسعات الخيالية بيتما المتسعة (Cce)تعتبر اصغرها لذلك معظم المصنفات تعطى مستويات للمتسعات (Cce , Cbe) ولا تتضمن المتسعة (Cce)لعدم تأثيرها عمليا على الاستجابة الترددية للمكبر . والشكل رقم (2) يوضح الدائرة المكافئة للترانزستور كمكبر في الترددات العالية . فيما يوضح الشكل(3) يوضح الدائرة المكافئة المختصره .



شكل يوضح المتسعات المؤثرة على دائرة مكبرالاستجابة الترددية العالية



شكل يوضح نموذج الدائرة المكافئة لمكبر الترددات العالية

حيث ان

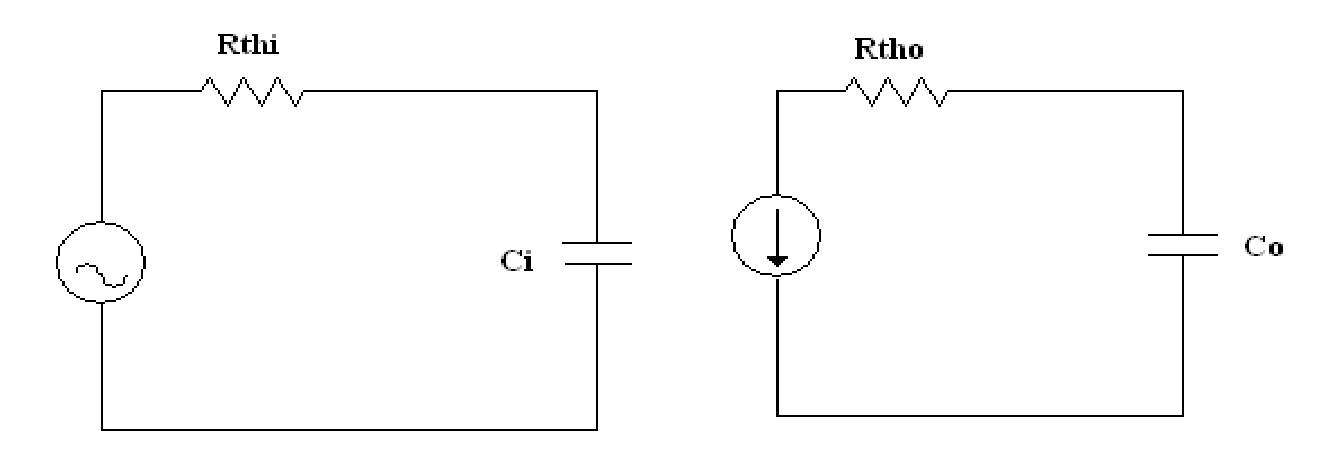
Ci :- القيمةالمكافئة لمتسعة الادخال
Co:- القيمة المكافئة لمتسعة الاخراج
Cwi :- القيمه المكافئة للمتسعات السلكيه في الادخال
Cbe :- المتسعه بين القاعدة والباعث
CMi:- متسعة ميلر في الادخال
Rthi:- مقاومة ثفنن المكافئة لادخال
Rtho:- مقاومة ثفنن المكافئة لاخراج
FHi:- اعلى تردد في الادخال
FHo:- اعلى تردد في الاخراج

$$Ci = Cwi + Cbe + CMi$$

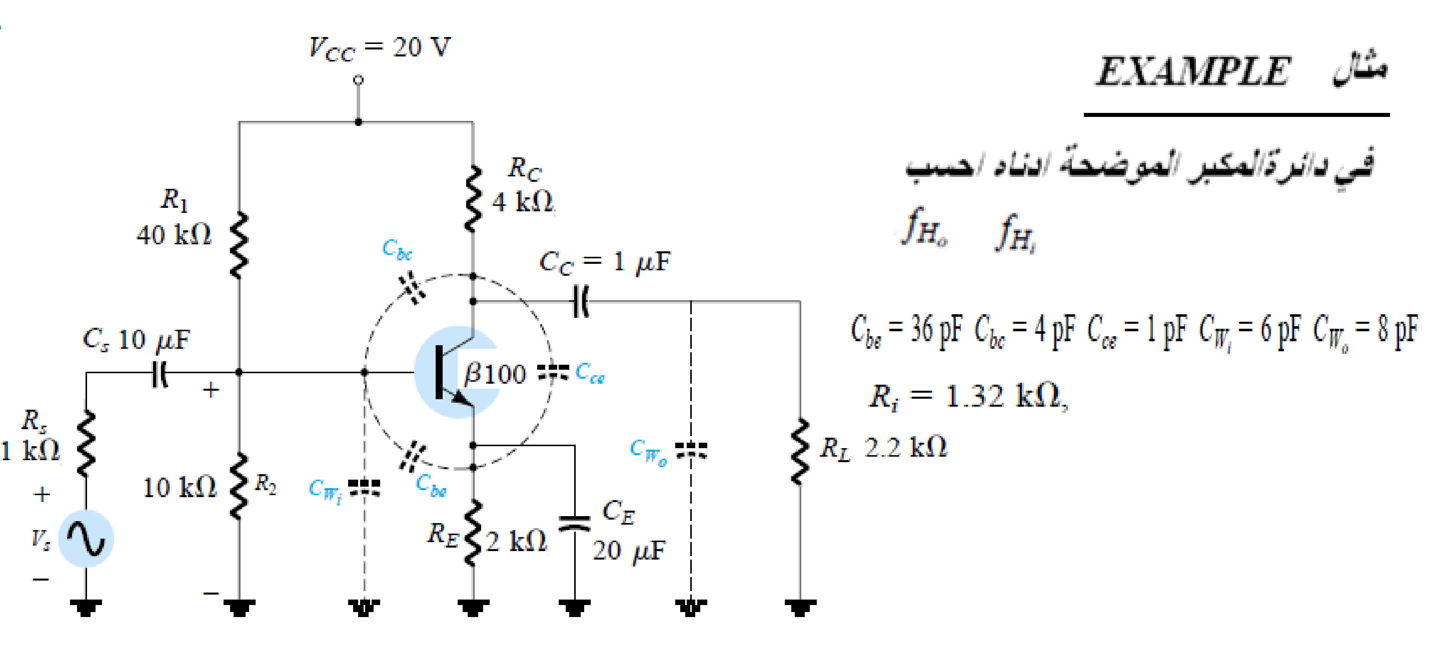
$$CMi = (1 - AV)Cbc$$

$$Ci = Cwi + Cbe + (1 - AV)Cbc$$

$$Rthi = Rs || R1 || R2 || Ri$$



شكل (3) يوضح الدائر المكافئة المختصرة لمكبر الاستجابة الترددية العالية



EXAMPLE مثال

في دائرةالمكبر الموضحة ادناه احسب

f_{H_o} f_{H_i}

$C_{be} = 36$ pF $C_{bc} = 4$ pF $C_{ce} = 1$ pF $C_{W_i} = 6$ pF $C_{W_o} = 8$ pF

$R_i = 1.32\ \text{k}\Omega$,

Solution

$$R_i = 1.32\ \text{k}\Omega, \qquad A_v \ \ (\text{amplifier}) = -90$$

$$R_{\text{Th}_1} = R_s \| R_1 \| R_2 \| R_i = 1\ \text{k}\Omega \| 40\ \text{k}\Omega \| 10\ \text{k}\Omega \| 1.32\ \text{k}\Omega$$
$$\cong 0.531\ \text{k}\Omega$$

$$C_i = C_{W_i} + C_{be} + (1 - A_v)C_{be}$$
$$= 6\ \text{pF} + 36\ \text{pF} + [1 - (-90)]4\ \text{pF}$$
$$= 406\ \text{pF}$$

$$f_{H_i} = \frac{1}{2\pi R_{\text{Th}_1} C_i} = \frac{1}{2\pi(0.531\ \text{k}\Omega)(406\ \text{pF})}$$
$$= \mathbf{738.24\ kHz}$$

$$R_{\text{Th}_2} = R_C \| R_L = 4\ \text{k}\Omega \| 2.2\ \text{k}\Omega = 1.419\ \text{k}\Omega$$

$$C_o = C_{W_o} + C_{ce} + C_{M_o} = 8\ \text{pF} + 1\ \text{pF} + \left(1 - \frac{1}{-90}\right) 4\ \text{pF}$$
$$= 13.04\ \text{pF}$$

$$f_{H_o} = \frac{1}{2\pi R_{\text{Th}_2} C_o} = \frac{1}{2\pi(1.419\ \text{k}\Omega)(13.04\ \text{pF})}$$
$$= \mathbf{8.6\ MHz}$$




Alexander Graham Bell

The decibel System نظام الدسيبل

الدسيبل وهو نظام قياس للمقارنة بين نسب كميات فيزيائية متشابة مثل القدره والفولتية والتيار ونسبة الضوضاء بصيغة لوغارتمية ويستخدم بشكل واسع في انظمة الاتصالات السميعية والراديوية والتلفزيونية .
والوحدة الاساسية هي البيل نسة الى العالم الانكليزي السكندر كراهام بيل (**Alexander Graham Bell**)
وبما ان وحدات البيل كبيره استخدمة وحدات الدسيبل الاصغر حيث ان :-

1bel = 10 decibel

ولتوضيح القياس بالدسبيل فمثلا" عندما تزداد القدرة من (4w) الى (16 w) فأن المستوى السمعي لايزداد اربعة اضعاف ونما يزداد زيادة اسية (4^2)
وكذلك عندما تتغير القدره من (4w) الى (64w) فأن المستوى السمعي يزداد بمقدار (4^3)
ويمكن كتابة هذه التغيرات بالصيغة اللوغارتمية كما يلي :-

$$powerlevel = Log_4 64 = 3$$

وللمقارنة بين مستوين من القدره من الشائعة استخدام لوغارتم للاساس 10

$$powerlevel = Log_{10} \frac{p2}{p1} bel$$

وبما ان bel كبيرة نستخدم decibel (dB) وكما يلي :-

$$powerlevel = 10 Log_{10} \frac{p2}{p1} dB$$

خواص اللوغاريتمات بالعلاقات الموضحة ادناه

$$\log_{10} 1 = 0$$

$$\log_{10} \frac{a}{b} = \log_{10} a - \log_{10} b$$

$$\log_{10} \frac{1}{b} = -\log_{10} b$$

$$\log_{10} ab = \log_{10} a + \log_{10} b$$

dB	power ratio
100	10 000 000 000
90	1 000 000 000
80	100 000 000
70	10 000 000
60	1 000 000
50	100 000
40	10 000
30	1 000
20	100
10	10
3	1.995
1	1.259
0	1
-10	0.1
-20	0.01
-30	0.001
-40	0.000 1
-50	0.000 01
-60	0.000 001
-70	0.000 000 1
-80	0.000 000 01
-90	0.000 000 001
-100	0.000 000 000 1

بدول يبين نسبةالقدرة والقيمه المكافئة لها بمقياس الدسيبل



جهاز قياس بالدسيبل (dB)

قانون قياس ربح القدره بالدسيبل

$$Gp = 10Log_{10}\frac{Po}{Pi}dB$$

قانون قياس ربح الفولتيه بالدسيبل
Why ....HW

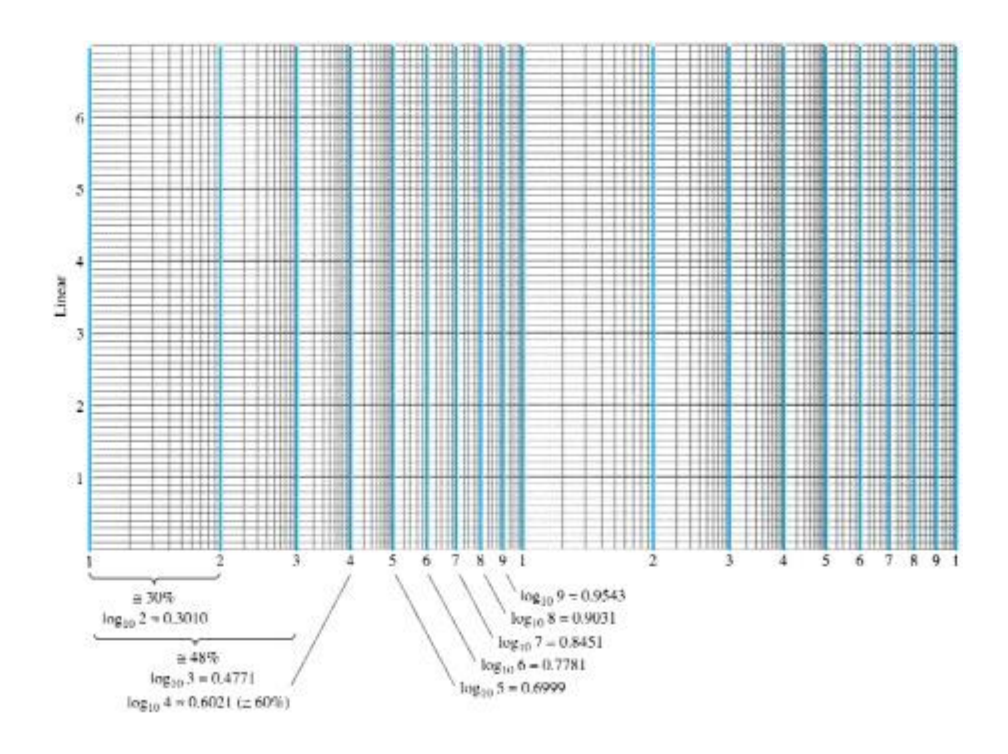
$$Gv = 20Log_{10}\frac{Vo}{Vi}dB$$

قانون قياس ربح التيار بالدسيبل

$$Gi = 20Log_{10}\frac{Io}{Ii}dB$$

خواص نظام الدسيبل
Characteristics of Decibel System

1. مقياس الدسيبل هومقياس نسبة وليس كمية حيث يوضح مقدار زيادة وونقصان تلك الكمية بالمقارنة باخرى من نفس النوع تعتبر كمرجع (Refrence)
2. مقياس الدسيبل هومقياس غير خطي (Non Linear)فمثلا مقدار (20dB) هي ليس ضعف لمقدار كمية القدره المساوية ل(10dB).
3. باعتبار ان نظام الدسيبل يعتمد على الصيغة اللوغارتمية فانه يسمح بمدى كبير لتمثيل القدرات العالية فمثلا (50dB= 100 000w)
4. المجموع الكلي للربح بالدسيبل لعدة مراحل تكبير متوالية تحصل بالجمع البسيط (GT(db)=G1(dB) +G2(dB)+G3(dB)..........)



EXAMPLE مثال

دائرة الكترونية قدرة الادخال لها تساوي (10kw) عند فولتية مقدارها 1000 v قدرة الاخراج تساوي 500w عندما تكون ممانعة الاخراج 20 Ω. اوجد

الربح بالقدرة بالدسيبل

الربح بالفولتية بالدسيبل

Solution

$$G_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_o}{P_i} = 10 \log_{10} \frac{500 \text{ W}}{10 \text{ kW}} = 10 \log_{10} \frac{1}{20} = -10 \log_{10} 20$$

$$= -10(1.301) = -13.01 \text{ dB}$$

$$G_v = 20 \log_{10} \frac{V_o}{V_i} = 20 \log_{10} \frac{\sqrt{PR}}{1000} = 20 \log_{10} \frac{\sqrt{(500 \text{ W})(20\ \Omega)}}{1000 \text{ V}}$$

$$= 20 \log_{10} \frac{100}{1000} = 20 \log_{10} \frac{1}{10} = -20 \log_{10} 10 = -20 \text{ dB}$$

$$R_i = \frac{V_i^2}{P_i} = \frac{(1 \text{ kV})^2}{10 \text{ kW}} = \frac{10^6}{10^4} = 100\ \Omega \neq R_o = 20\ \Omega$$

H.W **EXAMPLE** مثــال

مكبر قدرة الاخراج له 40-W ربط الى سماعة مقاومتها 10-Ω

احسب القدرة الادخال الازمه للحصول على ربح في الاخراج مقداره 25 dB.

احسب فولتية الادخال الازمة للحصول على ربح بفولتية الاخراج مقداره 40 dB

Solution

$$25 = 10 \log_{10} \frac{40 \text{ W}}{P_i} \Rightarrow P_i = \frac{40 \text{ W}}{\text{antilog } (2.5)} = \frac{40 \text{ W}}{3.16 \times 10^2}$$

$$= \frac{40 \text{ W}}{316} \cong 126.5 \text{ mW}$$

$$G_v = 20 \log_{10} \frac{V_o}{V_i} \Rightarrow 40 = 20 \log_{10} \frac{V_o}{V_i}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \text{antilog } 2 = 100$$

$$V_o = \sqrt{PR} = \sqrt{(40 \text{ W})(10 \text{ V})} = 20 \text{ V}$$

$$V_i = \frac{V_o}{100} = \frac{20 \text{ V}}{100} = 0.2 \text{ V} = 200 \text{ mV}$$

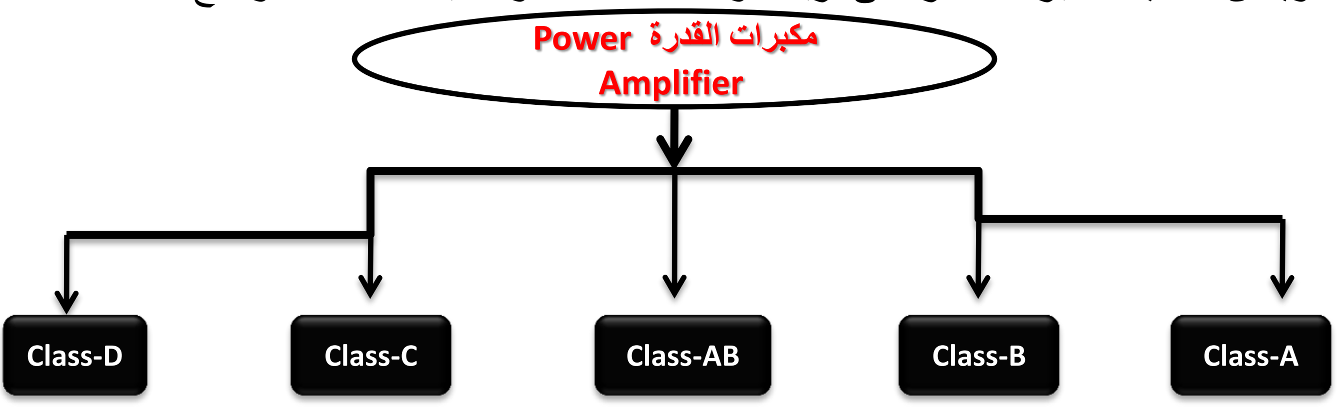
POWER AMPLIFIER مكبرات القدرة

INTRODUCTION مقدمـــــــــــة

مكبرات القدرة هي دوائر تكبير تشكل المراحل الاخيرة من منظومات مكبرات الاشارة وتسمى عادة" بمكبرات الاشارة الكبيرة (Large Signal Amplifier) وللترانزستورات المستخدمة في هذه الدوائر تدعى بترانزستورات القدره (Power Transistor) وغالبا" ماترتبط هذه المكبرات قبل محولات الطاقة(transducer) مثل السماعات الخارجية لمكبرات الصوت حيث يمتاز هذا النوع من الترانزستورات بمساحه واسعة وتشويب مركز تجعلها تميل الى التغير مقارنة" بترانزستورات مكبرات الاشارة الصغيرة (Small Signal Amplifier) والجدول ادناه يمثل مقارنة بسيطة بين نوعين من الترانزستورات احدهما (2N222A)ذو قدرة واطئة والاخر (2N3055) المصنف ذو قدرة عالية .

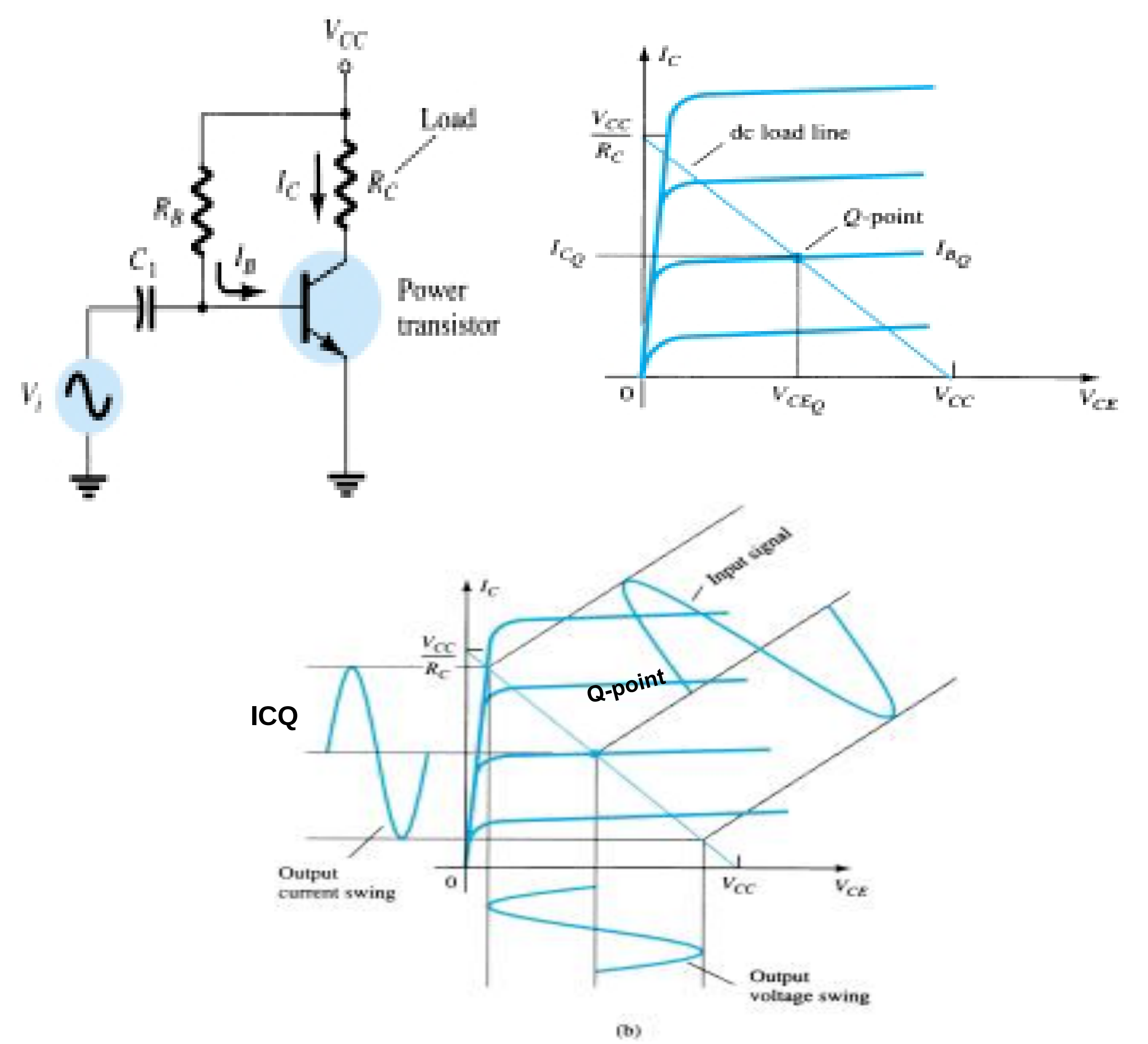
Parameter المعامل	2N222A	2N3055
VCE (Max)	40	60
IC(Max)	o.8	15
PD(Max) w at T=25Ċ	1.2	115
β	35--- 100	5--20
F(MHz)	300	o.8

ويمكن تصنيف مكبرات القدرة الى اربعة اوخمسة اصناف وحسب المخطط الموضح ادنـاه:-



مكبر القدرة صنف – CLASSS-A Amplifier

في هذا الصنف من مكبرات القدرة حيث يكون انحياز الترانزستور يؤدي بسريان التيار خلال دورة كاملة (full Cycle 360)من اشارة الادخال .
أي ان الترانزستور يبقى في حالة توصيل خلال زمن دورة موجة الادخال(2π) وان موضع نفطة عمل الترانزستور (Q- point) في منتصف خط الحمل يتغير حسب معدل تغير اشارة الادخال ضمن حدود المنطقه الفعالة بدون حدوث أي تشوية وكما موضح برسم الخواص ادناه :



(b)

حساب اعظم قدرة اخراج Maximum Power Output

لحساب قدرة الاخراج نطبق العلاقات الرياضية التالية وحسب طبيعة قياس الاشارة وكما يلي :-

$$1-P_o(ac)=\frac{VCE^2(rms)}{Rc}[u\sin g(rms)Signal]$$

$$2-P_o(ac)=\frac{VCE^2(P)}{2Rc}[u\sin g(peak)Signal]$$

$$3-P_o(ac)=\frac{VCE^2(p-p)}{8Rc}[u\sin g(peak-peak)Signal]$$

$$Pin(dc)=VCC\times I_{CQ}$$

خواص مكبر القدرة صنف (A)

1. اشارة الإخراج تكون خالية من التشوية ومشابهه لاشارة الادخال
2. بما ان نقطة العمل مقيده في منتصف خط الحمل فان هذا الصنف يكبر الاشارات الصغيرة فقط
3. القدرة الفعالة لاخراج تكون قليلة بسبب تحديد اتساع اشارة الادخال
4. الكفاءة الكلية للمكبر تساوي 25%
5. يمكن تحسين الكفاءة لهذا الصنف من مكبراتالقدرة وذلك بأقتران القدرة الواصلة للحمل بواسطة محولة لتصل كفائته الى 50%

حساب الكفاءة لمكبر القدرة صنف (A) Efficiency

$\underline{At\ \max imum\ V_o(pp)\ level}\ V_o(pp)=V_{CC}$

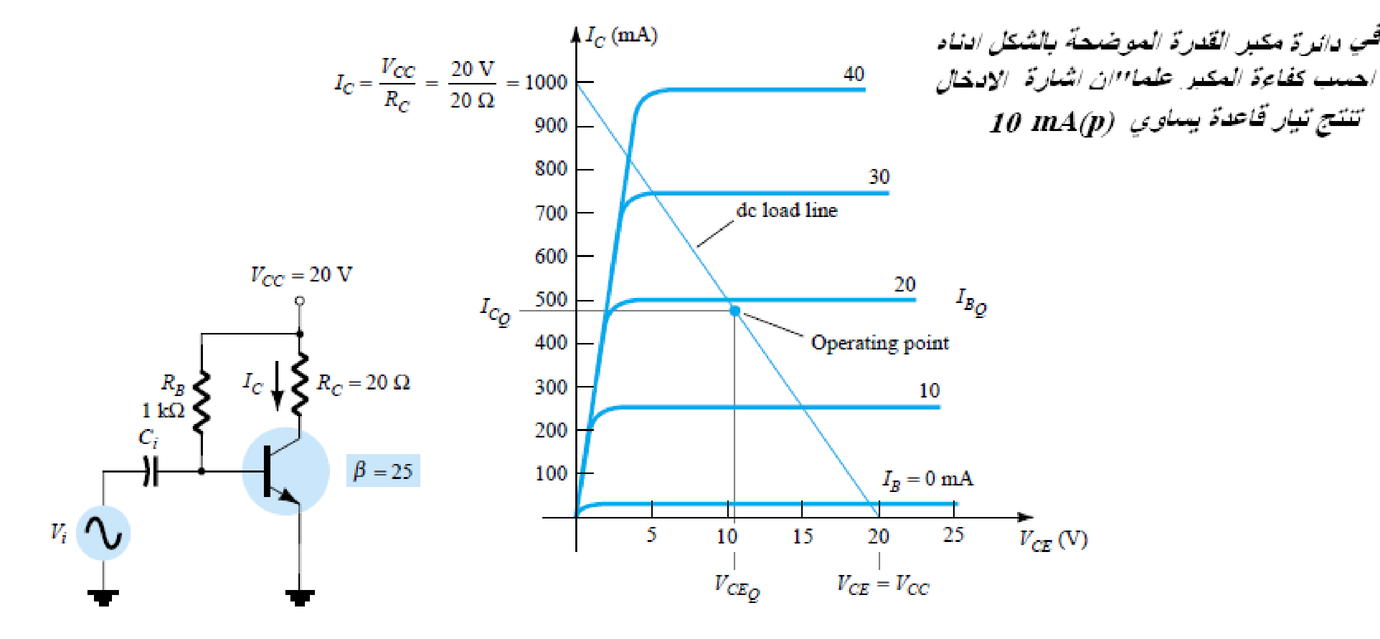
$$P_{ac}(\max)=\frac{\left(V_o(pp)/2\sqrt{2}\right)^2}{R_L}=\frac{V_{CC}^2}{8R_L}$$

$$P_{dc}(\max)=V_{CC}\times I_{CQ}=V_{CC}\times\frac{\frac{VCC}{2}}{R_L}=\frac{V_{CC}^2}{2R_L}$$

$$\eta(\max)=\frac{P_{ac}}{P_{dc}}=\frac{V_{CC}^2}{8R_L}\times\frac{2R_L}{V_{CC}^2}=0.25=25\%$$

EXAMPLE مثـــال

في دائرة مكبر القدرة الموضحة بالشكل ادناه احسب كفاءة المكبر علماً ان اشارة الادخال تنتج تيار قاعدة يساوي 10 mA(p)



Soultion

$$I_{B_Q} = \frac{V_{CC} - 0.7\text{ V}}{R_B} = \frac{20\text{ V} - 0.7\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} = 19.3\text{ mA}$$

$$I_{C_Q} = \beta I_B = 25(19.3\text{ mA}) = 482.5\text{ mA} \cong 0.48\text{ A}$$

$$V_{CE_Q} = V_{CC} - I_C R_C = 20\text{ V} - (0.48\ \Omega)(20\ \Omega) = 10.4\text{ V}$$

$$I_C(\text{p}) = \beta I_B(\text{p}) = 25(10\text{ mA peak}) = 250\text{ mA peak}$$

$$P_o(\text{ac}) = \frac{I_C^2(\text{p})}{2} R_C = \frac{(250 \times 10^{-3}\text{ A})^2}{2}(20\ \Omega) = \mathbf{0.625\ W}$$

$$P_i(\text{dc}) = V_{CC} I_{C_Q} = (20\text{ V})(0.48\text{ A}) = \mathbf{9.6\ W}$$

$$\%\ \eta = \frac{P_o(\text{ac})}{P_i(\text{dc})} \times 100\% = \frac{0.625\text{ W}}{9.6\text{ W}} \times 100\% = \mathbf{6.5\%}$$

تحسين كفاءة مكبر القدرة صنف (A) بواسطة الاقتران بالمحولة Improve Efficiency of Class- A – Amplifier
Transformer-coupled Class A Amplifier

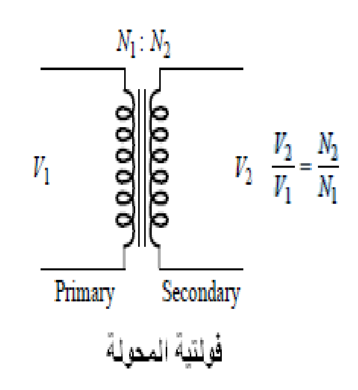
لزيادة كفاءة مكبر القدرة صنف (A) الى نسبة 05%نستخدم محولة لاقتران اشارة الاخراج مع الحمل كما موضح فب الشكل (1) والمحولة هي من العناصر الكهربائية التي تعمل على زيادة اونقصان الفولتية او التيار بالاعتماد على نسبة عدد اللفات بين الملف الابتدائي (Primary) والملف الثانوي (Secondary)كما موضح بالشكل (2)
اضتفة الى ان توصيل ممانعة الى جانب واحد من المحولة يمكن يعمل عل ظهور اما زيادة او انخفاض (Step up or Step down) بالاعتماد على مربع نسبة عدد اللفات

$$\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2$$

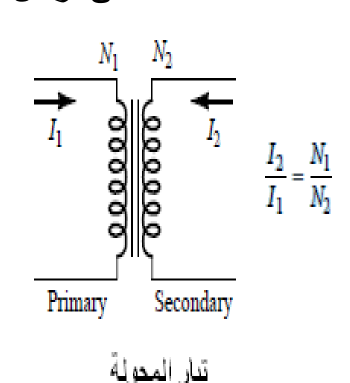
على فرض ان المحولة ان المحولة مثالية خالية من الخسائر حيث ان :-

$$\frac{V2}{V1}=\frac{N2}{N1}$$

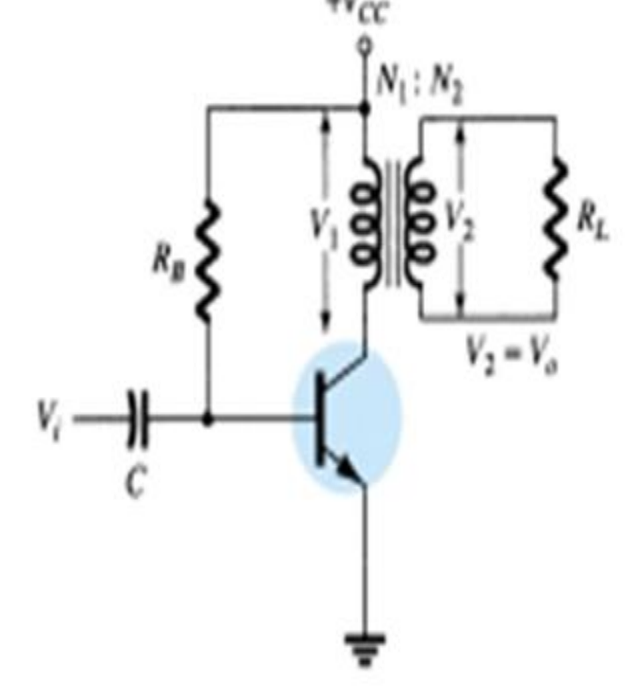
$$\frac{I2}{I1}=\frac{N1}{N2}$$

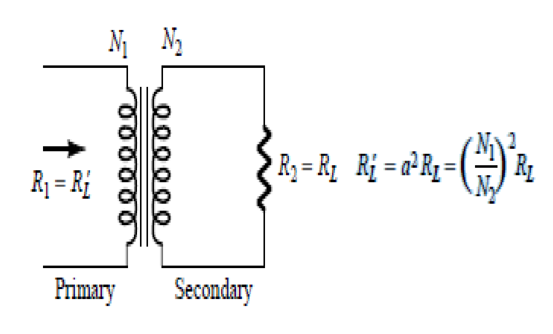


فولتية المحولة



تيار المحولة



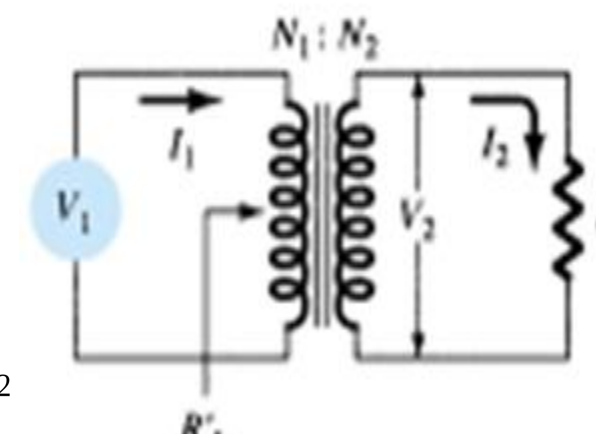


ممانعة المحولة

ملاحظة

اذا كان عدد لفات الملف الثانوي اكبر من الملف الابتدئي فأن تيار الملف الأثانوي يكون اقل من تيار الملف الابتدائي

بما ان الفولتية والتيار يمكن ان تتغير بواسطة المحولة فأن الممانعة (Impedance) في كلا الجانبين (الابتدائي والثانوي) كذلك يمكن ان تتغير وكما يلي :-



$$\frac{RL}{RL'} = \frac{R2}{R1} = \frac{V2/I2}{V1/I1} = \frac{V2}{I2} \times \frac{I1}{V1}$$

$$\frac{V2}{V1} \times \frac{I1}{I2} = \frac{N2}{N1} \times \frac{N2}{N1} = \left(\frac{N2}{N1}\right)^2 = (a)^2$$

حيث ان :-

$(a)^2$ **نسبة عدد لفات الملف الابتدائي إلى الملف الثانوي**

RL' **ممانعة الملف الابتدائي المنعكسة وتتناسب طردياّ مع مربع نسبة عدد اللفات**

$$R1 = (a)^2 R2$$

$$or$$

$$RL' = (a)^2 RL$$

اشتقاق تحسين كفاءة مكبر القدرة (Class- A)

$$\underline{\text{At maximum } V_o(pp) \text{ level}}\ V_o(pp) = 2V_{CC}$$

$$P_{ac}(max) = \frac{\left(V_o(pp)/2\sqrt{2}\right)^2}{R_L} = \frac{(2V_{CC})^2}{8n^2 R_L}$$

$$P_{dc}(max) = V_{CC} \times I_{CQ} = V_{CC} \times \frac{V_{CC}}{R_L} = \frac{V_{CC}^2}{R_L}$$

$$\eta(max) = \frac{P_{ac}}{P_{dc}} = \frac{4V_{CC}^2}{8n^2 R_L} \times \frac{R_L}{V_{CC}^2} = 0.5 = 50\%$$

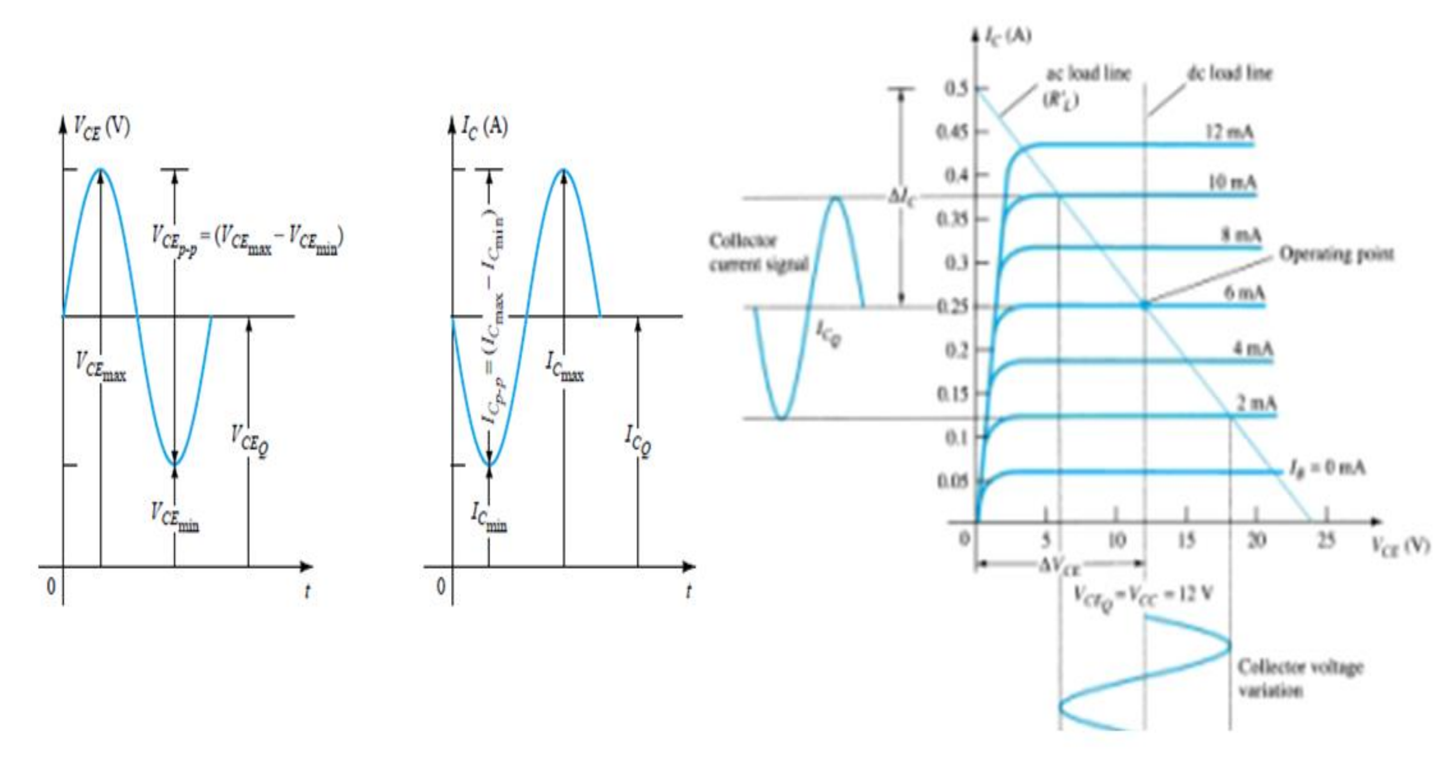
الشكل ادناه يوضح تارجح الاشارة حسب الازاحة لنقطة عمل الترانزستور وهذه التغيرات يمكن حسابها بقياس (peak –peak)
وكما يلي :-

$$VCE(p-p) = VCE_{\max} - VCE_{\min}$$

$$Ic(p-p) = Ic_{\max} - Ic_{\min}$$

وعلي تكون قدرة الاخراج خلال الملف الابتدائي للمحولة يمكن حسابها من العلاقة التالية

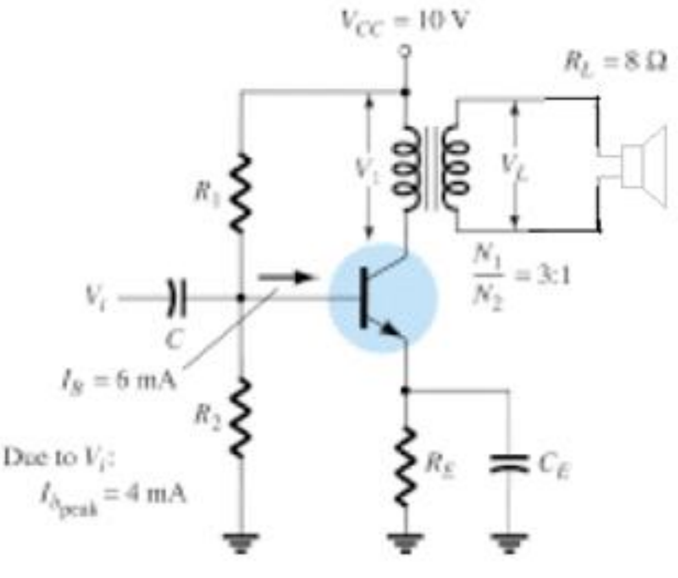
$$P_{o(ac)} = \frac{(VCE_{\max} - VCE_{\min})(IC_{\max} - IC_{\min})}{8}$$



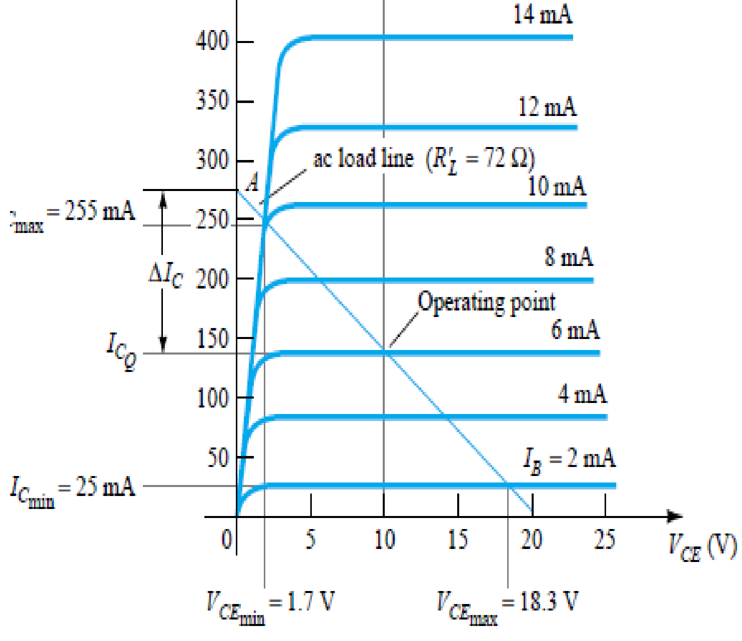
حسب أعظم الكفاءة لمكبر القدرة صنف (A) في حالة ربط محولة اقتران مع الحمل نظريا" Maximum Theoretical Efficiency

$$\%\ \eta = 50\left(\frac{V_{CE_{\max}} - V_{CE_{\min}}}{V_{CE_{\max}} + V_{CE_{\min}}}\right)^2 \%$$

EXAMPLE مثـــال



احسب القدرة الواصله الى السماعة مقاومتها 8-Ω اذا علمت ان تيار القاعدة المستمر يساوي 6 mA, واشارة الادخال تنتج تيار قاعدة مساوي الى 4 mA.



Solution

خط الحمل يرسم عمودي كما في الشكل

$$V_{CE_Q} = V_{CC} = 10 \text{ V}$$

$$V_{CE_Q} = 10 \text{ V} \quad \text{and} \quad I_{C_Q} = 140 \text{ mA}$$

المقاومة الفعالة للملف الابتدائي

$$R'_L = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L = (3)^2(8) = 72\ \Omega$$

$$I_C = \frac{V_{CE}}{R'_L} = \frac{10 \text{ V}}{72\ \Omega} = 139 \text{ mA}$$

mark a point (A):

$$I_{CE_Q} + I_C = 140 \text{ mA} + 139 \text{ mA} = 279 \text{ mA along the } y\text{-axis}$$

$$V_{CE_{min}} = 1.7 \text{ V} \qquad I_{C_{min}} = 25 \text{ mA}$$

$$V_{CE_{max}} = 18.3 \text{ V} \qquad I_{C_{max}} = 255 \text{ mA}$$

$$P_o\,(\text{ac}) = \frac{(V_{CE_{max}} - V_{CE_{min}})(I_{C_{max}} - I_{C_{min}})}{8}$$

$$= \frac{(18.3 \text{ V} - 1.7 \text{ V})(255 \text{ mA} - 25 \text{ mA})}{8} = 0.477 \text{ W}$$

$$P_i(\text{dc}) = V_{CC}I_{C_Q} = (10\text{ V})(140\text{ mA}) = \mathbf{1.4\ W}$$

$$P_Q = P_i(\text{dc}) - P_o(\text{ac}) = 1.4\text{ W} - 0.477\text{ W} = \mathbf{0.92\ W}$$

The efficiency of the amplifier is then

$$\%\ \eta = \frac{P_o(\text{ac})}{P_i(\text{dc})} \times 100\% = \frac{0.477\text{ W}}{1.4\text{ W}} \times 100\% = \mathbf{34.1\%}$$

EXAMPLE مثـــال

احسب الكفاءة لمكبر القدرة صنف (A)
باقتران بمحولة اذا علمت ان فولتية التجهيز (12 v)
وان فولتية الاخراج كما يلي

(a) $V(\text{p}) = 12\text{ V}$
(b) $V(\text{p}) = 6\text{ V}$
(c) $V(\text{p}) = 2\text{ V}$

Solution

(a) Since $V_{CE_Q} = V_{CC} = 12$ V,

$$V_{CE_{\max}} = V_{CE_Q} + V(\text{p}) = 12\text{ V} + 12\text{ V} = 24\text{ V}$$
$$= 0\text{ V}$$

$$\%\ \eta = 50\left(\frac{V_{CE_{\max}} - V_{CE_{\min}}}{V_{CE_{\max}} + V_{CE_{\min}}}\right)^2\%$$

$$\%\ \eta = 50\left(\frac{24\text{ V} - 0\text{ V}}{24\text{ V} + 0\text{ V}}\right)^2\% = \mathbf{50\%}$$

(b) $V_{CE_{\max}} = V_{CE_Q} + V(\text{p}) = 12\text{ V} + 6\text{ V} = 18\text{ V}$
$V_{CE_{\min}} = V_{CE_Q} - V(\text{p}) = 12\text{ V} - 6\text{ V} = 6\text{ V}$

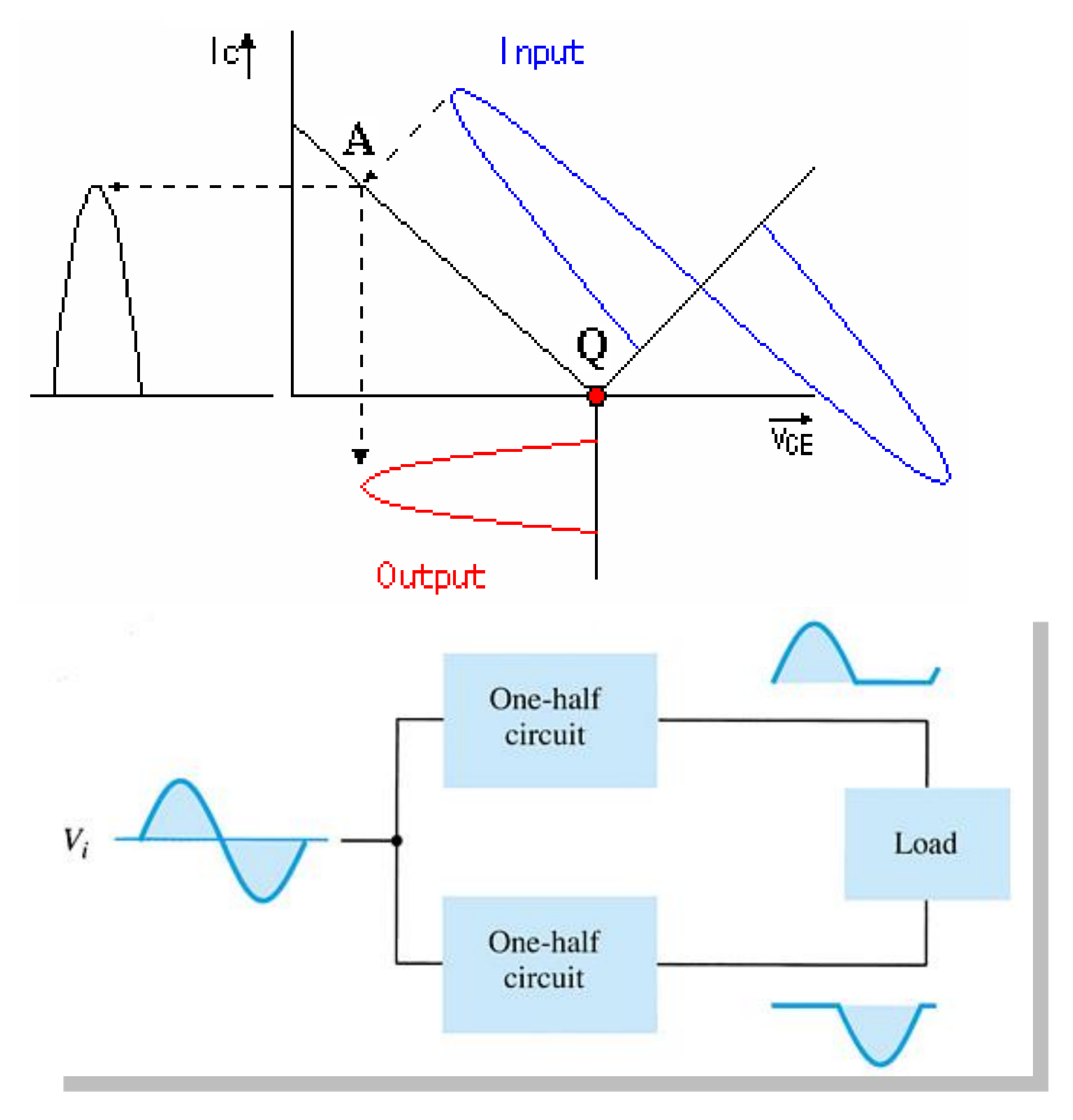
$$\%\ \eta = 50\left(\frac{18\text{ V} - 6\text{ V}}{18\text{ V} + 6\text{ V}}\right)^2\% = \mathbf{12.5\%}$$

(c) $V_{CE_{\max}} = V_{CE_Q} + V(\text{p}) = 12\text{ V} + 2\text{ V} = 14\text{ V}$
$V_{CE_{\min}} = V_{CE_Q} - V(\text{p}) = 12\text{ V} - 2\text{ V} = 10\text{ V}$

$$\%\ \eta = 50\left(\frac{14\text{ V} - 10\text{ V}}{14\text{ V} + 10\text{ V}}\right)^2\% = \mathbf{1.39\%}$$

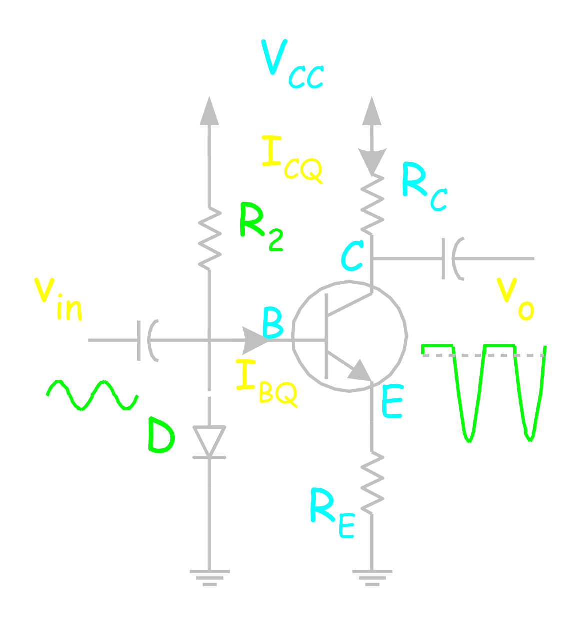
مكبر القدرة صنف – CLASSS-B Amplifier

في هذا الصنف من مكبرات القدرة وهو الصنف (B) يؤدي بـأنحياز المكبر خلال زمن نصف دورة من اشارة الادخال (π) وكما موضح بالشكل ادناه وفي هذا الصنف تكون اشارة الاخراج مشوهه كون نصف موجه سيظهر في اخراج المكبر ولكن بكفاءة اعلى من الصنف (A) وللحصول على موجة اخراج بنصفين يستخدم ترانزستورين متممين كل واحد منهما يعمل خلال نصف موجة وبذلك نحصل على موجة اخراج بدورة تشغيل للمكبر بزمن اقل من (360ċ)



خواص مكبر القدرة صنف (B)

1. بسبب غياب نصف الدورة السالبة فان اشارة الاخراج فيها تشويه عالي مقارنة" بالصنف (A)
2. القدرة المبددة اقل من الصنف (A)
.
3. كفاءة هذا الصنف من مكبرات القدرة اعلى من الصنف (A)



حساب الكفاءة لمكبر القدرة صنف (B) Efficiency

$$I_{dc} = \frac{2}{\pi} I(\text{p})$$

$$P_i(\text{dc}) = V_{CC}\left(\frac{2}{\pi} I(\text{p})\right)$$

$$P_o(\text{ac}) = \frac{V_L^2(\text{rms})}{R_L}$$

$$P_o(\text{ac}) = \frac{V_L^2(\text{p-p})}{8R_L} = \frac{V_L^2(\text{p})}{2R_L}$$

$$\%\,\eta = \frac{P_o(\text{ac})}{P_i(\text{dc})} \times 100\%$$

$$\%\,\eta = \frac{P_o(\text{ac})}{P_i(\text{dc})} \times 100\% = \frac{V_L^2(\text{p})/2R_L}{V_{CC}[(2/\pi)I(\text{p})]} \times 100\%$$

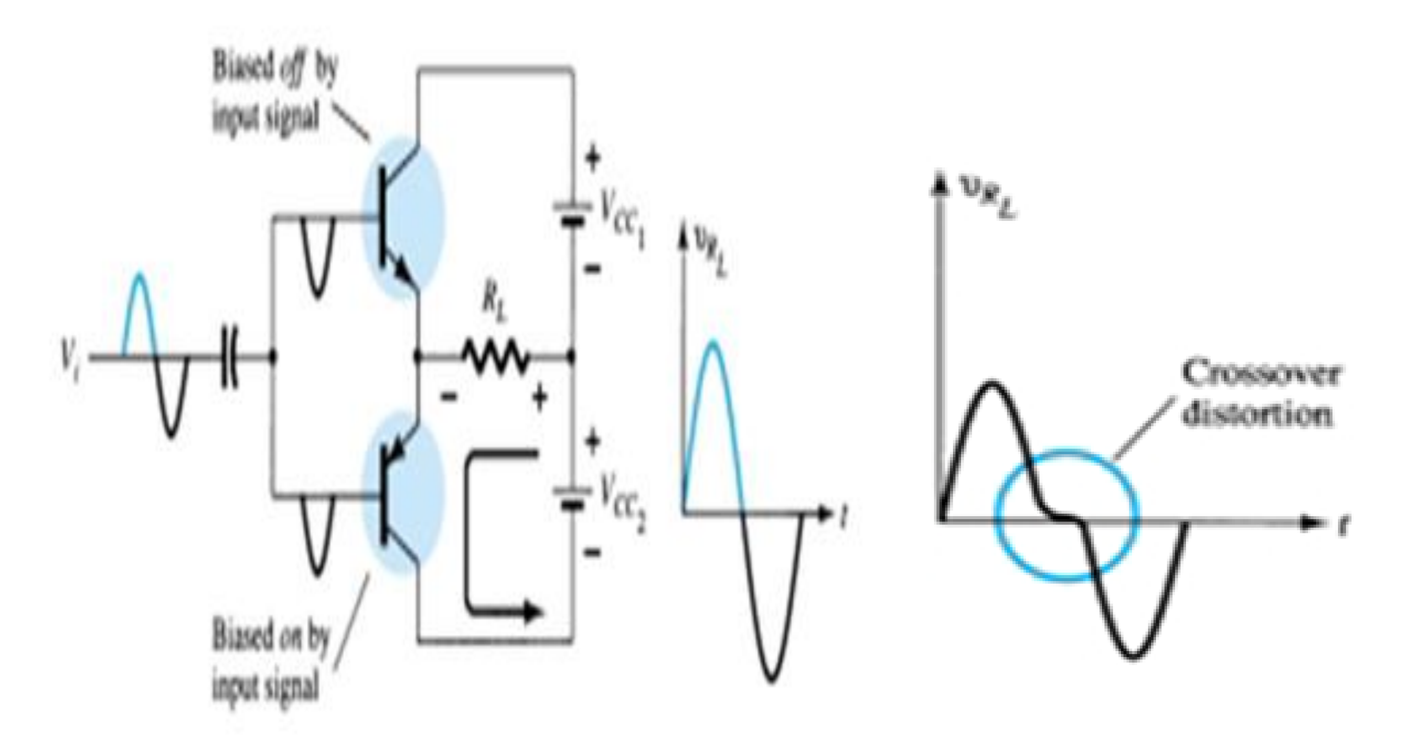
$$= \frac{\pi}{4}\frac{V_L(\text{p})}{V_{CC}} \times 100\%$$

$$\text{maximum efficiency} = \frac{\pi}{4} \times 100\% = 78.5\%$$

مكبر القدرة صنف (B) سحب دفع باستخدام ترانزستورين متممين Transistors Push-Pull Complementary

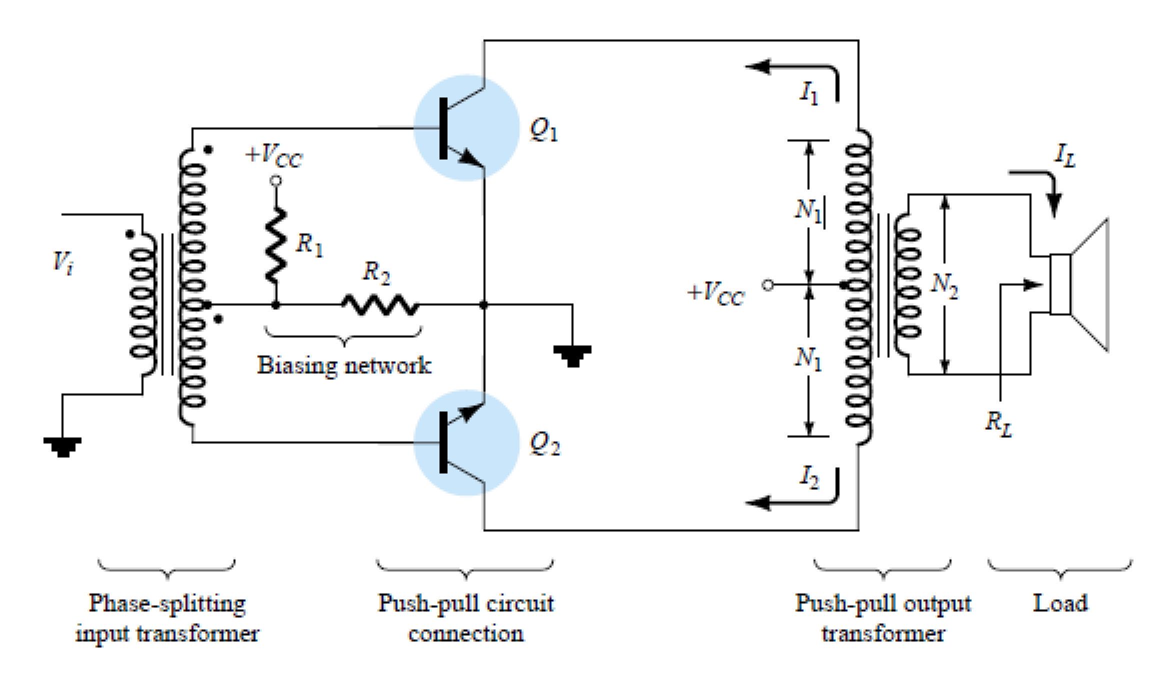
باستخدام ترانزستوريت متممين (PNP , NPN) ممكن للحصول على موجة كاملة في الاخراج خلال الحمل حيث يعمل كل ترانزستور لنصف دوره تشغيل
حيث ان عندما تطبق اشارة الادخال بنصفها الموجب على كلا قاعدتي الترانزستورين يكون الترانزستور (NPN) مهيأ للعمل فيما يكون الاخر غير مهيأللعمل بسب انحيازه الغير ملائم كونه (PNP) وهذه الحالة تنعكس لكلا الترانزستورين في حالة تطبيق النصف السالب على قاعدتيهما
خلال اكمال دورة اشارة الادخال ووصولها الى الاخراج عبر الحمل هناك مساوىء اهمها :-

1. نحتاج الى مصدرين مستمرين لتوفير الانحياز الازم لكلا الترانزستورين
2. نلاحظ ان موجة الاخراج الواصله للحمل بفترة اقل من (2π) بسبب توقف الترانزستورين عن العمل خلال فترة التحويل من االنصف الموجب الى النصف السالب من اشارة الادخال وهذه الحالة تدعى بتشوية التحويل (crossover distortion)وكما موضح بالشكل ادناه

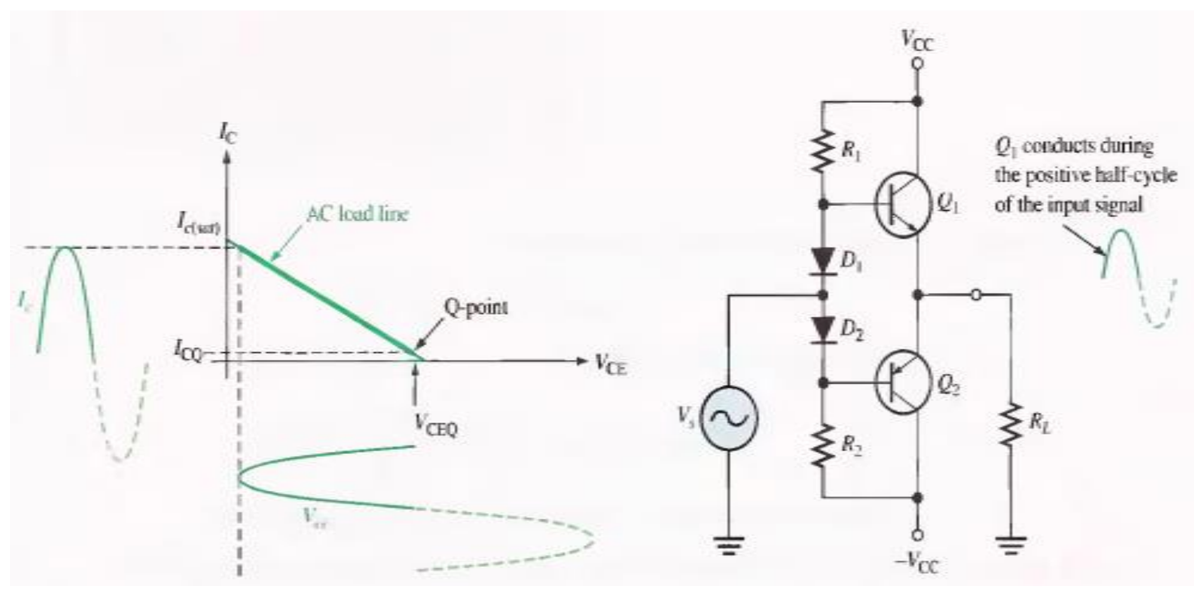


مكبر القدرة صنف (B) سحب دفع مقترن بواسطة محولة-Class-B Transformer Coupled Push–Pull

الدائرة الموضحة ادناه تستخدم محولة ذات نقطة وسطيةللحصول على فرق طور لاشارة الادخال لتجهيز كلا الترانزستورين فخلال النصف الاول يعمل Q1على التوصيل فيما يكون Q2في حالة قطع والعكس صحيح في النصف الاخر من اشارة الادخال.
ثم تصل الاشارة كاملة"الى الحمل ومن ثم تقرن بوسطة المحولة الى السماعة وكما موضح باشكل ادناه



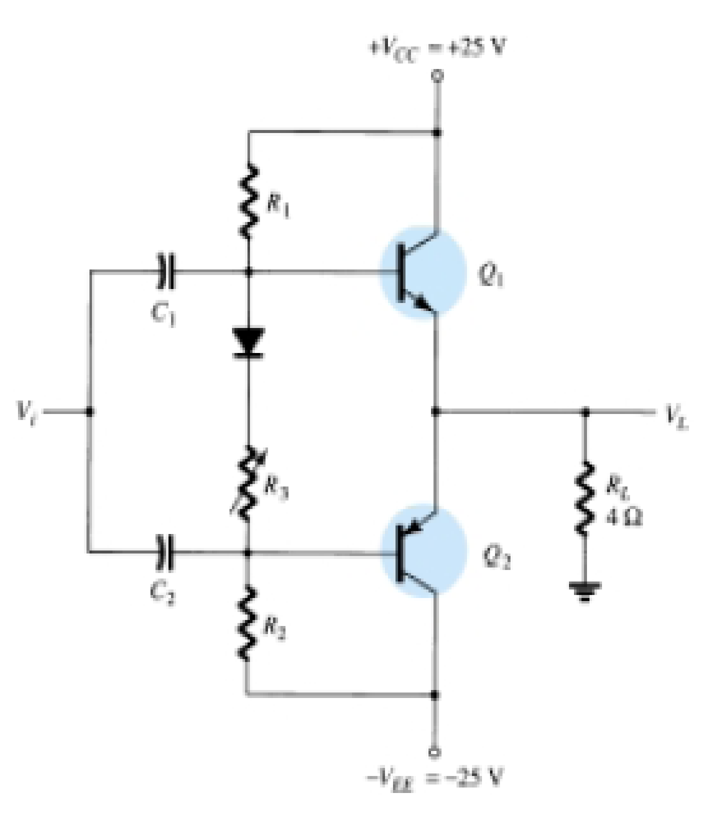
ويمكن معالجة ظاهرة تشوية التحويل (crossover distortion)وذلك بواسطة جعل نقطة عمل الترانزستورين اعلى بقليل من منطقة القطع عن طريق ربط دايودين مع قاعدتي الترانزستورين وكما في الشكل ادناه



EXAMPLE مثـــــــال

في الدائرة الموضحة ادناه احسب :-

1. قدرة الاخراج Pout
2. قدرة الادخال Pin
3. القدرة المحولة عن طريق الترانزستورين PQ
4. الكفـــــــــاءة



Solution

$$V_L(\text{p}) = \sqrt{2}\,V_i\,(\text{rms}) = \sqrt{2}\,(12\text{ V}) = 16.97\text{ V} \approx 17\text{ V}$$

$$P_o(\text{ac}) = \frac{V_L^2(\text{p})}{2R_L} = \frac{(17\text{ V})^2}{2(4\ \Omega)} = \mathbf{36.125\ W}$$

$$I_L(\text{p}) = \frac{V_L(\text{p})}{R_L} = \frac{17\text{ V}}{4\ \Omega} = 4.25\text{ A}$$

$$I_{\text{dc}} = \frac{2}{\pi}I_L(\text{p}) = \frac{2(4.25\text{ A})}{\pi} = 2.71\text{ A}$$

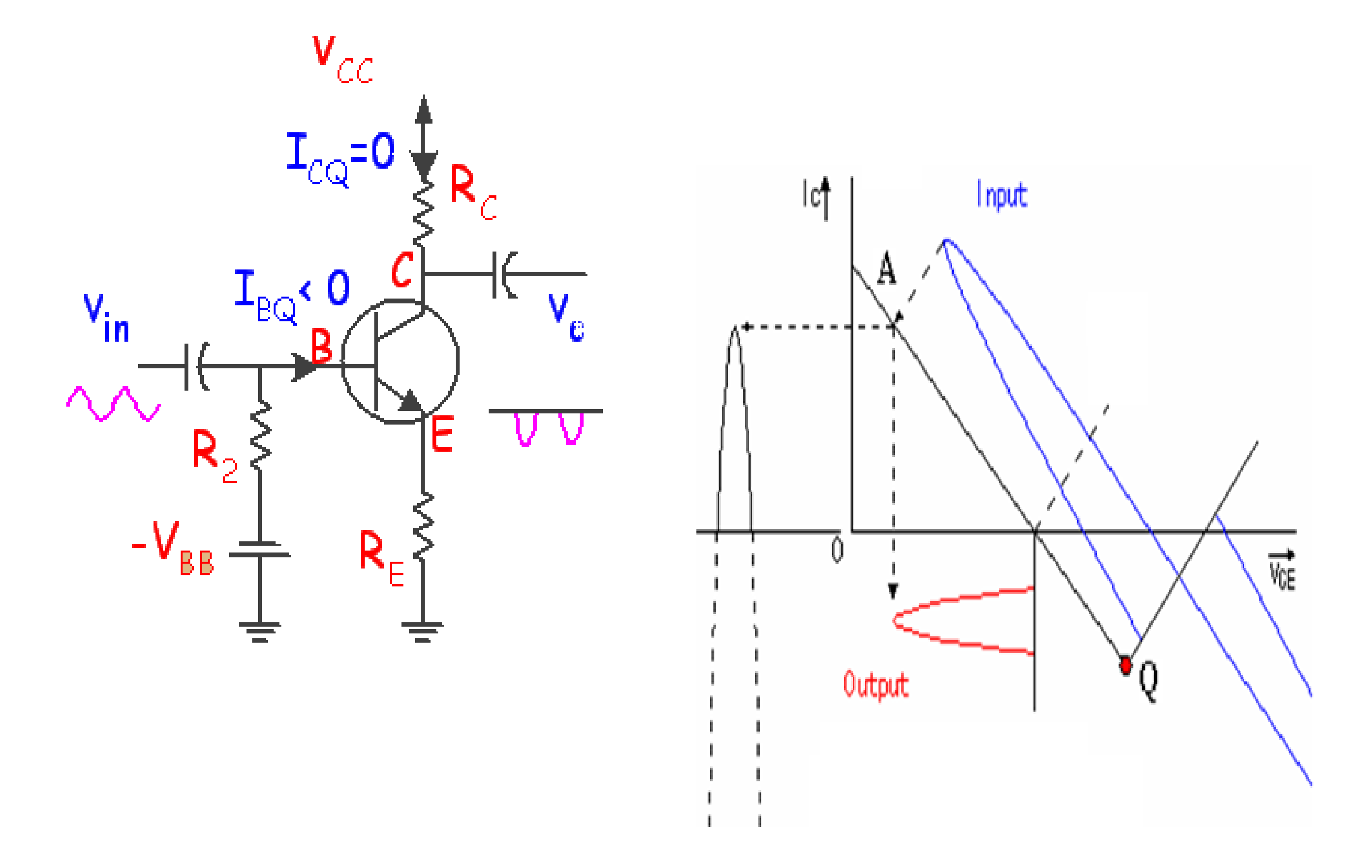
$$P_i(\text{dc}) = V_{CC}I_{\text{dc}} = (25\text{ V})(2.71\text{ A}) = \mathbf{67.75\ W}$$

$$P_Q = \frac{P_{2Q}}{2} = \frac{P_i - P_o}{2} = \frac{67.75\text{ W} - 36.125\text{ W}}{2} = \mathbf{15.8\ W}$$

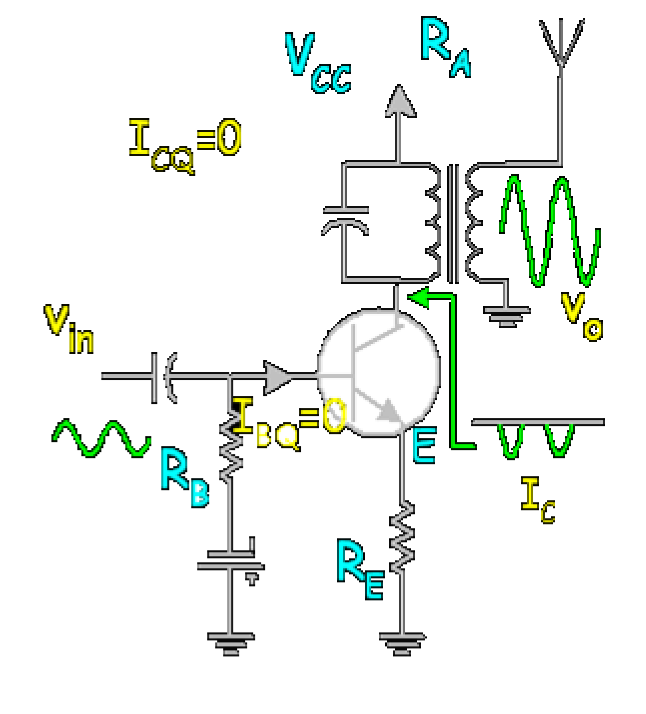
$$\%\,\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% = \frac{36.125\text{ W}}{67.75\text{ W}} \times 100\% = \mathbf{53.3\%}$$

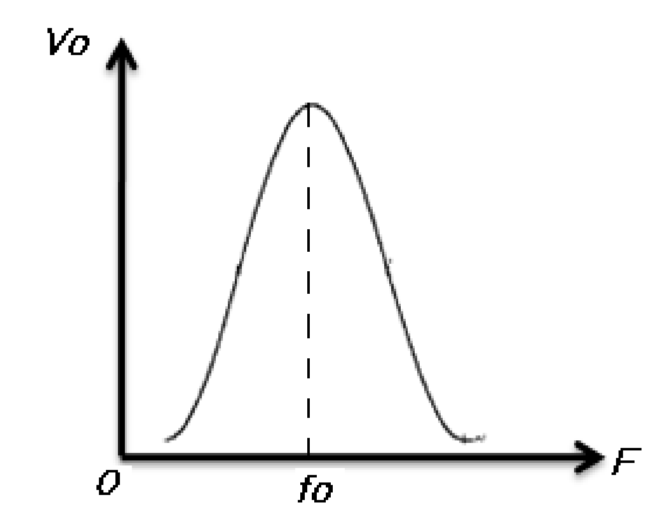
مكبر القدرة صنف – CLASSS- C Amplifier

في هذا النوع من مكبرات القدرة يكون سريان تيار الجامع لفترة اقل من نصف دورة من اشارة الادخال (π<) أي ان نقطة عمل الترانزستور تقع تحت منطقة القطع كما ان اشارة الاخراج يكون فيها تشوية كبيرويمتاز هذا الصنف بكفاءة عالية تصل (85% الى 90%) و الشكل ادناه يوضح دائرة مكبر ومنحني خواص مكبر القدرة صنف (C) ويستعمل بشكل واسع في لبمكبرات الراديوية :-



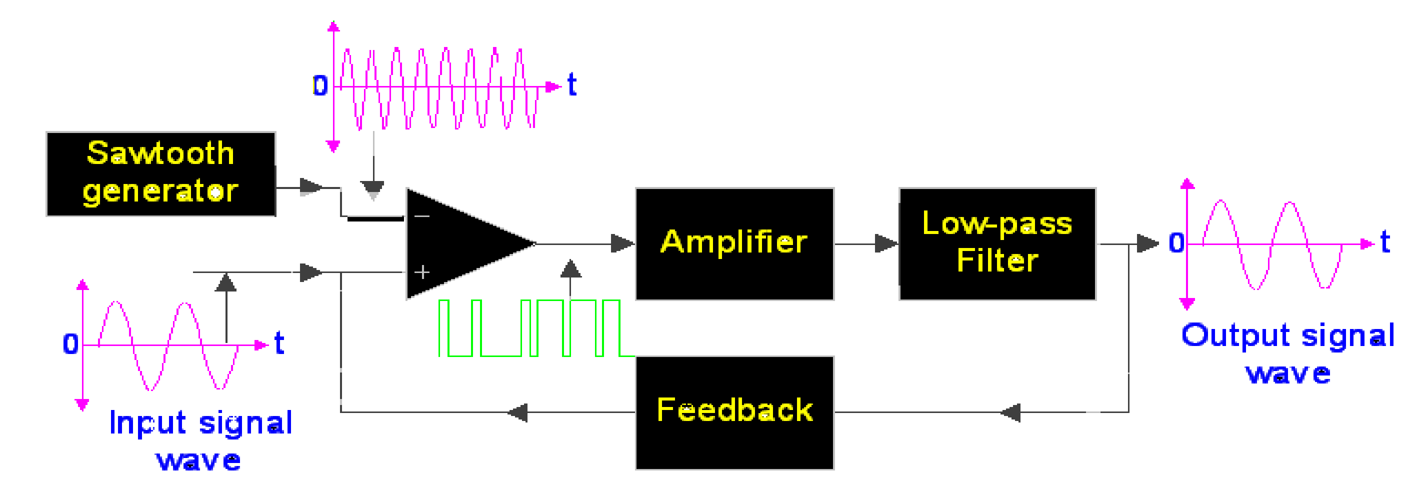
الربح في هذا النوع من المكبرات يعتمد مباشرة على قيمة ممانعة الحمل التي تمثل دائرة رنين عباره عن (L C) في الشكل ادناه حيث يمثل منحني الاستجابة الترددية للمكبر متمثل بتردد الرنين لدائرة الحمل المتمثله بالملف والمتسعة حيث نلاحظ ان حزمة ضيقة من الترددات بالقرب من تردد الرنين (*fo*) سوف تكبر بينما بقية الترددات لاتكبر وكما موضح في منحني الاستجابة الترددية الموضح ادناة :-





مكبر القدرة صنف – CLASSS-D Amplifier

مكبر القدرة صنف / Cيصمم لتكبيرالاشارات النبضية حيث تصل كفاءة المكبر بحدود 90% لذلك فان هذا النوع من المكبرات مرغوب في العديد من تطبيقات الدوائر الالكترونية.
لذلك من الضروري تحويل الاشارة الى نبضات باستخدام دائرة مقارن بين اشارتين احدهما اشارةمن مولد سن المنشار (*Saw tooth Generator*) والاخرى اشارة الادخال وحسب المخطط الموضح ادناة :-



مخطط يوضح استخدام مكبر القدرة صنف D في تكبير الاشارات النبضية

Comparison of Amplifier Classes مقارنة بين اصناف مكبرات القدرة					
	Class				
	A	AB	B	C	D
Operating cycle	360°	180° to 360°	180°	Less than 180°	Pulse operation
Power efficiency	25% to 50%	Between 25% (50%) and 78.5%	78.5%	*85% --90%*	Typically over 90%

AMPLIFIER DISTORTION التشوية في المكبرات

<u>المقدمة</u>

تعمل المكبرات على انتاج اشارة اخراج مشابهة الى حد ما لاشارة الادخال في كل الصفات ماعدى الاتساع حيث ان الغرض الاساسي من عملية التكبير هو زيادة اتساع موجة الاخراج بالاعتماد على صنف المكبر ولكن في الواقع العملي لايمكن تركيب مكبر مثالي نحصل منه على اشارة اخراج متطابقة تماما " مع اشارة الادخال مع فرق التكبير . حيث دائما" يوجد اختلاف بين اشارة الادخال والاخراج وهذا الاختلاف يدعى بالتشوية (Distortion) .

ويمكن تقسيم التشوية في المكبرات كما يلي :-

1. التشوية غير الخطـــي Non – Liner Distortion

وهذا التشوية يحدث لاشارة عندما يعمل الترانزستور في منطقة الخواص غير الخطية

ويمكن تقسيمه الى مايلي :-

A. التشوية التوافقي Harmonic Distortion

***B. التشوية داخل التضمين Inter Moudlation* Distortion**

C. التشوية الاتساعي Amplitued Distortion

وهذا التشوية يسمع كضوضاءويحدث عندما يكون هناك اكثر من تردد لموجة الادخال مثل اشارة الكلام

2. التشويـــة الخطـــــــي Liner Distortion

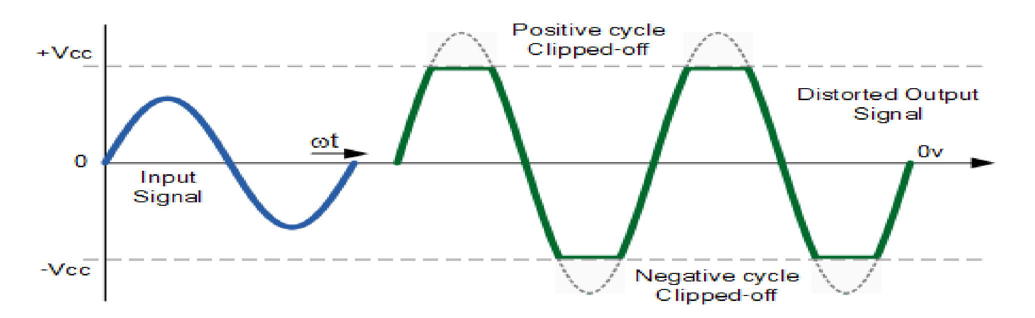
ويحدث هذا التشوية عندما تعمل العناصر الفعالة في الجزء الخطي من الخواص ويمكن تقسيمه الى مايلي :-

A. التسوية الترددي Frequency Distortion

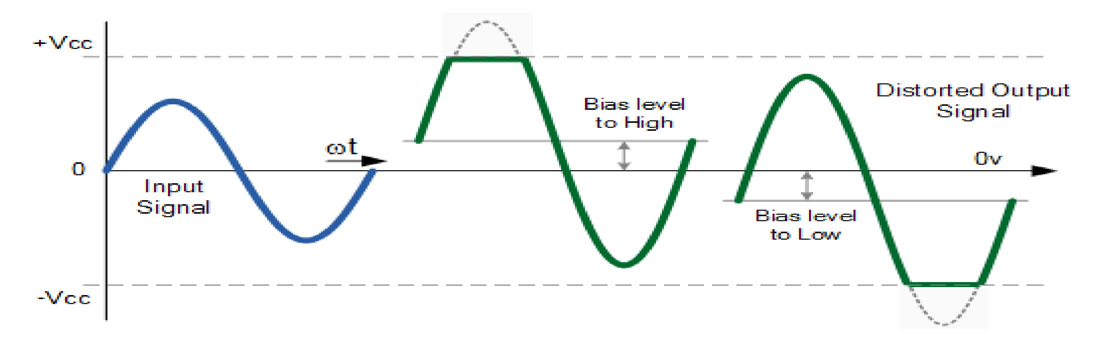
ويحدث هذا التشويه وذلك بعدم تساوي التكبير لحزمة الترددات لاشارة الادخال

B. التشوية الطوري Phase Distortion

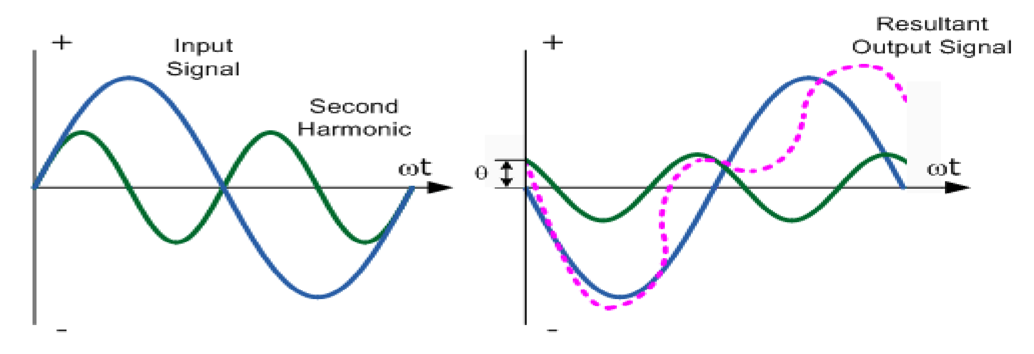
ويحدث هذا التشوية وذلك بعدم تساوي الازاحة الطورية لمركبات مختلفة من اشارة الادخال



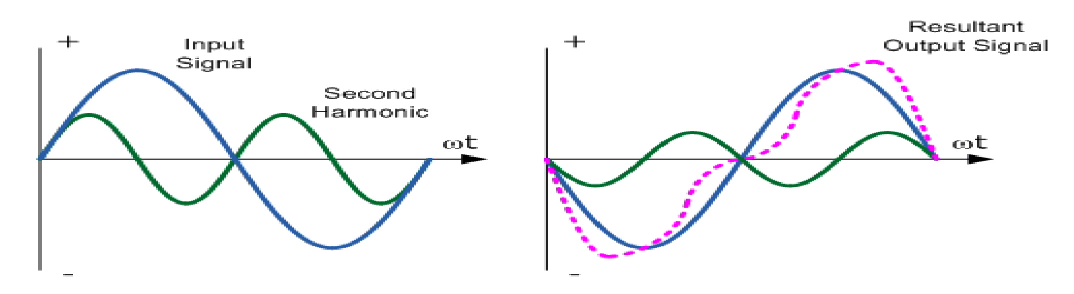
Amplitude Distortion due to Clipping التشوية الاتساعي (قطع مزدوج)



Amplitude Distortion due to Incorrect Biasing التشوية الاتساعي بسبب الانحياز الخاطىء



Phase Distortion due to Delay التشوية الطوري



Frequency Distortion due to Harmonics التشوية الترددي

Harmonic Distortion Calculations حساب النسبة المئوية للتشويه التوافقي

يمكن حساب التشوية التوافقي لاتساع التوافقية الاساسية (Dn)من العلاقة الرياضية التالية

$$\%\,\text{nth harmonic distortion} = \%D_n = \left|\frac{A_n}{A_1}\right| \times 100$$

A_1 is the amplitude of the fundamental frequency — الاتساع للتردد الاساسي
A_n is the amplitude of the highest harmonic — الاتساع للاعلى توافقية

المجموع الكلي للتشويه التوافقي

$$\%\,THD = \sqrt{D_2^2 + D_3^2 + D_3^2 + \cdots} \times 100$$

The total harmonic distortion (THD) is determined by:

EXAMPLE مثـــــــال

احسب مركبة التشوية التوافقية لاشارة الاخراج اتساعها الاساسي يساوي 2.5 V, *واتساع التوافقية الثانية يساوي* 0.25 V, *واتساع التوافقية الثالثة يساوي* 0.1 V, *واتساع التوافقية الرابعةيساوي* 0.05 V.

Solution

$$\%\,D_2 = \frac{|A_2|}{|A_1|} \times 100\% = \frac{0.25\text{ V}}{2.5\text{ V}} \times 100\% = \mathbf{10\%}$$

$$\%\,D_3 = \frac{|A_3|}{|A_1|} \times 100\% = \frac{0.1\text{ V}}{2.5\text{ V}} \times 100\% = \mathbf{4\%}$$

$$\%\,D_4 = \frac{|A_4|}{|A_1|} \times 100\% = \frac{0.05\text{ V}}{2.5\text{ V}} \times 100\% = \mathbf{2\%}$$

مركبة التشوية التوافقية الكلية

$$\%\,THD = \sqrt{D_2^2 + D_3^2 + D_4^2} \times 100\%$$

$$= \sqrt{(0.10)^2 + (0.04)^2 + (0.02)^2} \times 100\% = 0.1095 \times 100\%$$

$$= 10.95\%$$

المكبرات متعددة المراحل
Multi-Stage Amplifiers

للحصول على ربح كبير نستخدم عدد من مراحل التكبير ليكون الربح الكلي للمكبر ناتج من حاصل ضرب الربح لجميع المراحل ويمكن تقسيم مكبرات متعددة المراحل الى قسمين هما

1- المكبرات المتوالية (Cascade Amplifier) : -

في هذا النوع تكون جميع المراحل متشابهه في النوع وطريقة الربط بين مرحلة واخرى

2- المكبرات المركبة (Compound Amplifier):-

في هذا النوع تكون كل مرحلة مختلفة عن الاخرى
في نوع المكبر مثلا" الاولى (CE والثانية (CC) وكذلك تختلف في طريقة الاقتران

$$Av = Av_1 * Av_2 * Av_3$$

$$Gd_B = Gd_{B1} + Gd_{B2} + Gd_{B3}$$

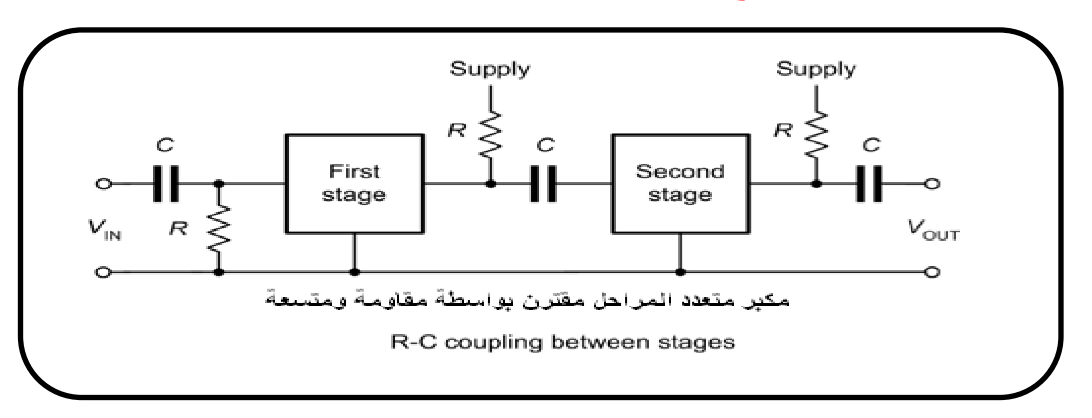
طرق الاقتران في المكبرات

تحتاج مراحل التكبير المتعددة إلى شبكة ربط كما هو الحال في المكبر المفرد الذي يحتاج إلى عناصر ربط في الإدخال والإخراج .
في نظام ربط المكبرات متعددة المراحل هناك طرق ربط بين مراحل التكبير يدعى (Inter Stage Coupling).

حيث يمكن تصنيفها الى الطرق التالية :-

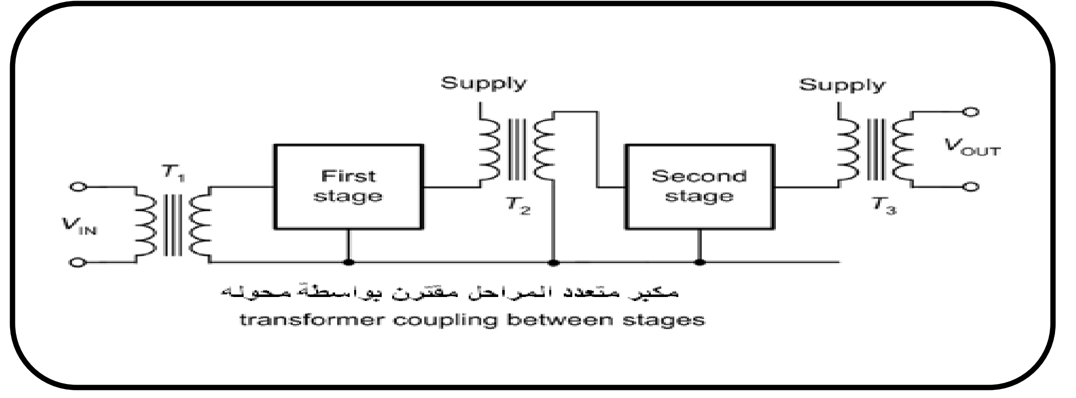
1. الاقتران بواسطة مقاومة ومتسعة (R C – Coupling)
2. الاقتران بواسطة ملف ومتسعة (LC – Coupling)
3. الاقتران بوسطه المحولـــــــة (Transformer Coupling)
4. الاقتران المباشـــــــــــر (Direct – Coupling)

المخططات أدناه توضح طرق اقتران المكبرات متعددة المراحل



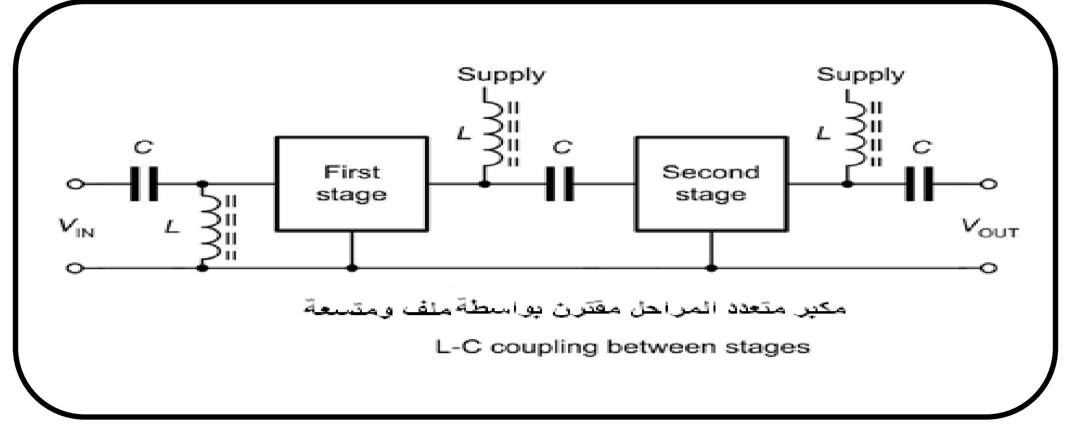
مكبر متعدد المراحل مقترن بواسطة مقاومة ومتسعة

R-C coupling between stages



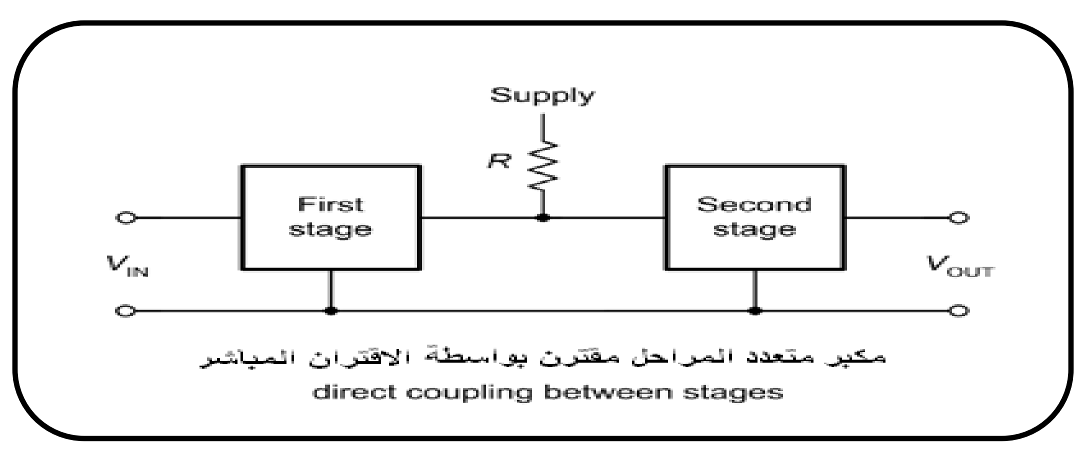
مكبر متعدد المراحل مقترن بواسطة محوله

transformer coupling between stages



مكبر متعدد المراحل مقترن بواسطة ملف ومتسعة

L-C coupling between stages



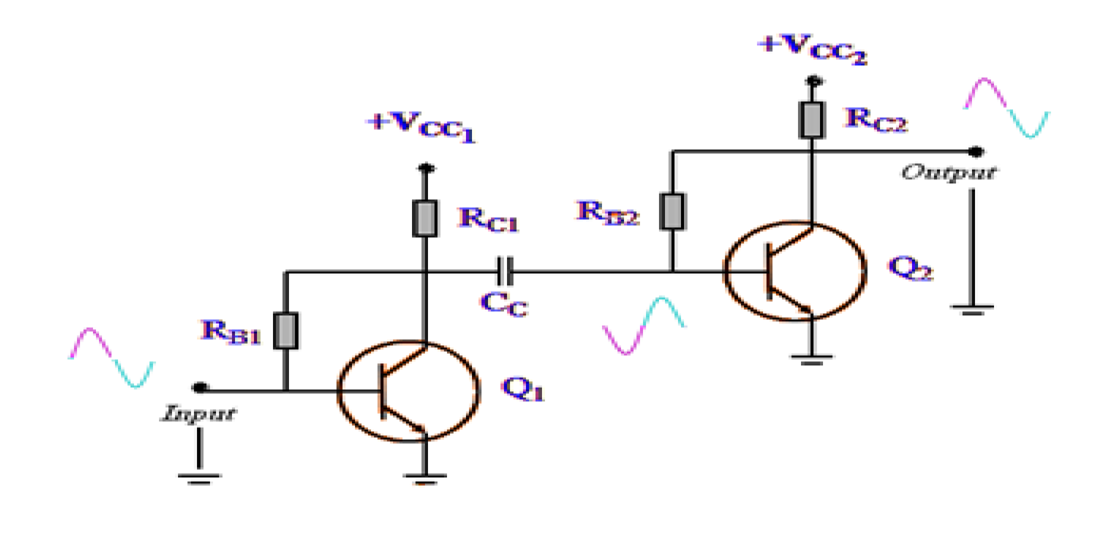
مكبر متعدد المراحل مقترن بواسطة الاقتران المباشر

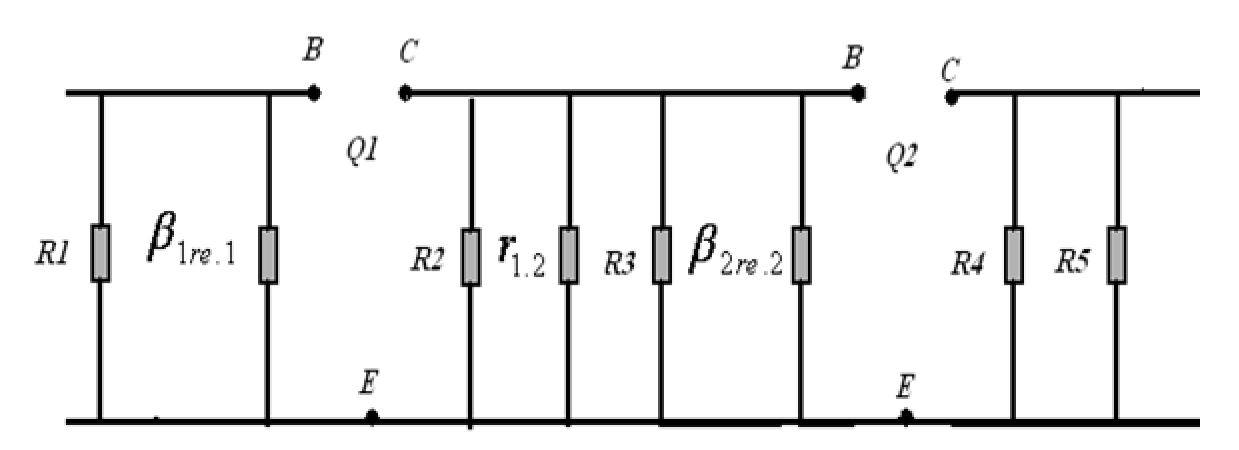
direct coupling between stages

1. الاقتران بواسطة مقاومة ومتسعة
R-C Coupling

في هذه الطريقة من الربط تكبر الاشارة عن طريق الترانزستور (Q1) لنحصل على اشارة الاخراج من خلال المقاومه (R2) وبفرق طور مقداره (π) فيما تسلط هذه الاشاره على دائرة ادخال الترانزستور (Q2) بواسطة عنصر الاقتران (RC) فنحصل على اشارة الاخراج للمرحلة الثانية ونفس طور اشارة الادخال الاصلية .

والشكل ادناة يوضح دائرة مكبر متعدد المراحل مقترن بواسطة مقاومة ومتسعة

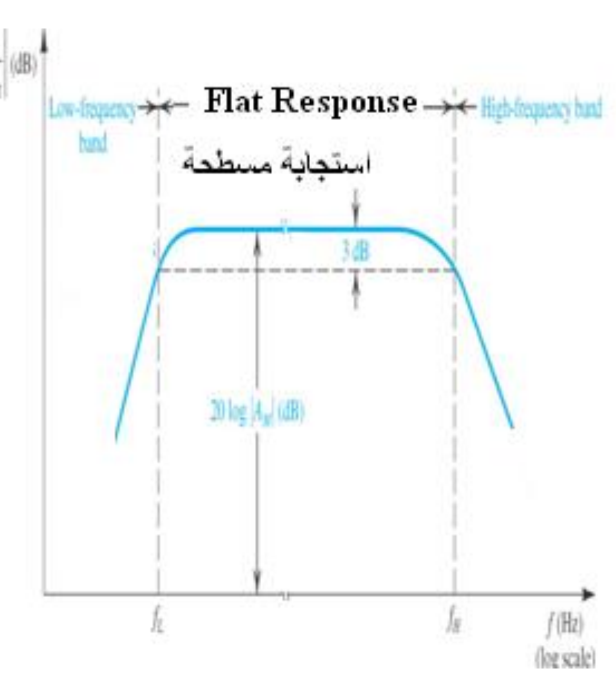




الدائرة المكافئة لمكبر متعدد المراحل باقتران RC

التحليل الرياضي لعوامل الدائرة

من العلاقات الرياضية التالية يمكن حساب معاملات الدائرة وكما موضح أدناه:-



$$r_{i.1} = R_1 // \beta_1 r_{e.1}$$

$$r_{o.1} = R_2 // r_{i.2}$$

$$r_{i.2} = R_3 // \beta_2 r_{e.2} \cong \beta_2 r$$

$$r_{e.1} = \frac{25mv}{IE_{.1}} \, or \, \frac{50mv}{IE_{.1}}$$

$$r_{e.2} = \frac{25mv}{IE_{.2}} \, or \, \frac{50mv}{IE_{.2}}$$

$$r_{o.2} = R_4 // R_5$$

$$AV = AV_1 * AV_2$$

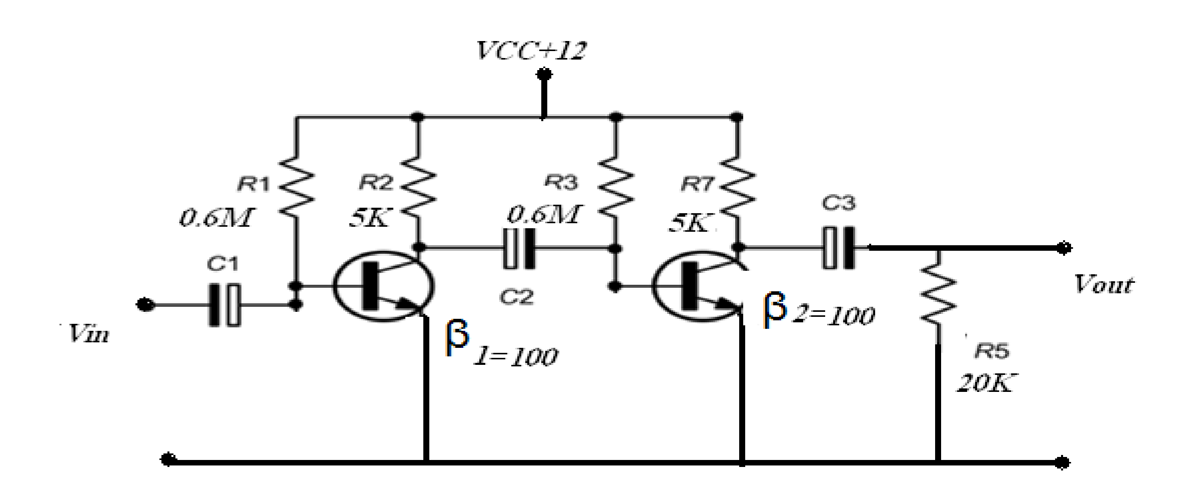
$$Av(dB) = Av_{1(dB)} + Av_{1(dB)}$$

المســــــــــــاوىء Disadvantages	ميزات الاقتران بالمتسعة والمقاومة Advantages Of RC -Coupling)
1- هبوط عالي بالجهد خلال مقاومة الجامع مما يستوجب استخدام مصدر عالي الجهد	1- استخدام عناصر رخيصة ولاتحتاج الى ضبط .
	2-التكبير عالي مقارنة" بالطرق الاخرى
	3-عدم وجود تشوية كهرومغناطيسي بسبب عدم استخدام ملفات ومحولات
	4- استجابة ترددية ثابتة مع ربح الفولتية (استجابة ترددية مسطحة)

EXAMPLE مثال

مكبر سمعي ذو مرحلتين اقتران (RC) كما في الشكل ادناة احسب مايلي

ri , Av1 ,Av2 , Av(dB)



$$ri = R1 // \beta 1 re_{.1}$$

$$ic_{.1} = \beta ib = ie_1$$

$$ib = \frac{vcc}{R1} = \frac{12}{0.6M} 20\mu A$$

$$ic = \beta ib = 100 \times 20 = 2mA$$

$$re_{.1} = \frac{25mA}{ie_1} = \frac{25}{2mA} = 12.5\Omega$$

$$\beta 1 re_{.1} = 100 \times 12.5 = 1250\Omega$$

$$\therefore ri = R1 // \beta 1 re_{.1} \Rightarrow \frac{0.6M \times 1250}{0.6M + 1250} \cong 1250\Omega$$

$$Av_1 = \frac{ro_{.1}}{re_{.1}}$$

$$ro_{.1} = R2 // ri_{.2}$$

$$ri_{.2} Rb // \beta_2 re_{.2} \Rightarrow \frac{0.6M \times 1250}{0.6M + 1250} \cong 1250$$

$$ro_{.1} = 5K // 1250 \Rightarrow \frac{5K \times 1250}{5K \times 1250} = 1000\Omega$$

$$Av_1 = \frac{ro_{.1}}{re_{.1}} = \frac{1000}{12.5} = 80$$

$$Av_2 = \frac{ro_{.2}}{re_{.2}}$$

بنفس طريقة حساب ie1 نحسب
ie2=2mA

$$r0_{.2} = R_4 // R_5 \Rightarrow 5K // 20K = 4K\Omega$$

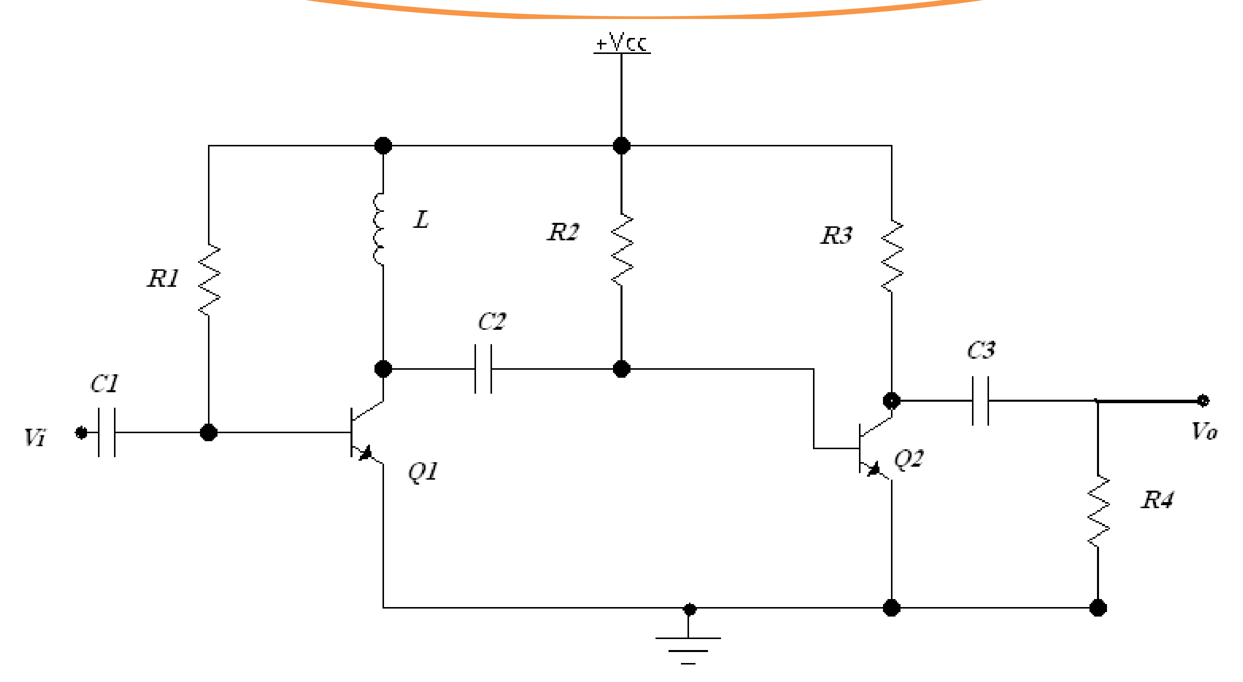
$$re_{.2} = \frac{25mv}{2mA} = 12.5\Omega$$

$$re_{.2} = \frac{ro_{.2}}{re_{.2}} = \frac{4000}{12.5} = 320$$

$$Av = Av_1 \times Av_2 \Rightarrow 80 \times 320 = 25600$$

$$Gv = 20\log_{10} Av = 20\log_{10} 25600 = 88dB$$

2. الاقتران بواسطة ملف ومتسعة L-C Coupling



دائرة الاقتران بواسطة ملف ومتسعة L- C coupling

الدائرة الموضحة في الشكل اعلاة تبين طريقة الاقتران بواسطة ملف ومتسعة حيث تم استبدال المقاومة في النوع الاول بالملف ويمكن ايجاز حساب معاملات الدائرة بالعلاقات الرياضية التالية :-

$$Av_{.1} = \frac{Zo_{.1}}{re_{.1}}$$

$$Zo_{.1} = XL // ri_{.2}$$

$$ri_{.2} = R2 // \beta_2 re_{.2}$$

$$if \longrightarrow XL >> ri_{.2}$$

$$Zo_{.1} = ri_{.2}$$

$$Av_{.1} = \frac{ri_{.2}}{re_{.1}},,,,,,,, Av_{.2} = \frac{ro_{.2}}{re_{.2}}$$

$$Av = Av_{.1} \times Av_{.2}$$

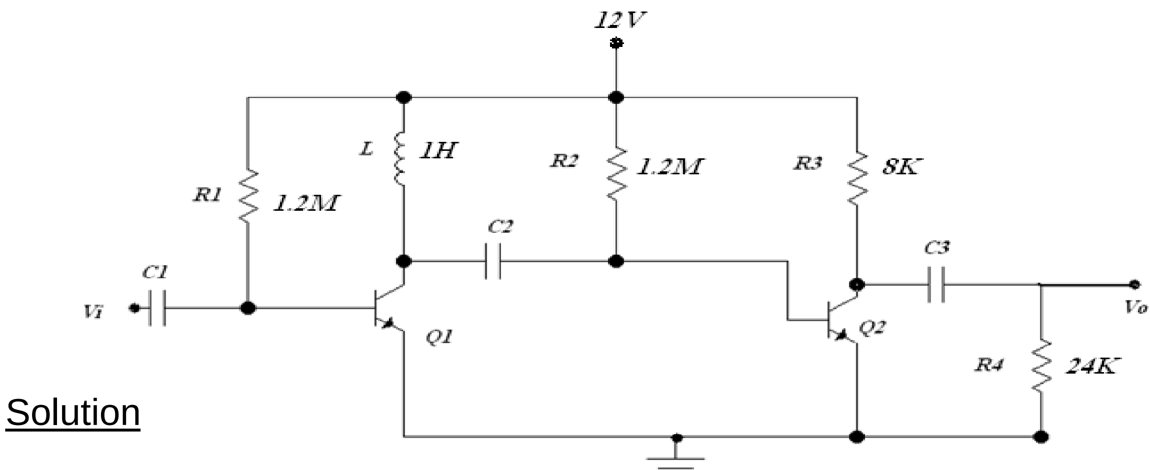
$$Gv = 20Log_{10}Av$$

ميزات الاقتران بالمتسعة والملف **Advantages Of LC –(Coupling)**	**المســــــــــاوىء** **Disadvantages**
1- احتمال هبوط الجهد على الملف قليل جدا" مما يؤدي الى انخفاض جهد الجامع المستخدم	1 - اثقل واكثر كلفة مقارنة"بالنوع الاول (RC)
	2 – استخدام حماية (غلاف) لعنصر الاقتران لمنع تأثير المجال المغناطيسى الاشارة
	3 – بما ان ممانعة المحاثة تعتمد بالاساس على التردد لذلك تكون خواص هذا النوع من الاقتران رديئة في دوائر الترددات العالية

EXAMPLE مثال

مكبر متعدد المراحل مقترن بمحاثة كما مبين بالشكل ادناه احسب :-

Av2 . Av1 at4kHz . Avin (dB)



Solution

$$Av_{.2} = \frac{ro_{.2}}{re_{.2}}$$

$$ro_{.2} = R3/2/R4 = 8k // 24k = 6k$$

$$I_{B2} = \frac{Vcc}{R_B} = \frac{12}{1.2M} 10\mu A$$

$$IC_2 = \beta_2 I_{B2} = 100 \times 10 = 1000\mu A = 1mA = I_{E2}$$

$$\therefore r_{e.2} = \frac{25mv}{1mA} = 25\Omega$$

$$A_{v.2} = \frac{ro_{.2}}{re_{.2}} = \frac{6000}{25} 240$$

$$A_{V.1} = \frac{zo_{.1}}{re_{.1}} \cong \frac{ro_{.1}}{re_{.1}}$$

$$re_{.1} = 25\Omega$$

$$XL = 2\pi fL$$

$$XL = 2\pi \times 4 \times 10^3 \times 1 = 25.130k\Omega$$

$$ri_{.2} = R2 // \beta_2 re_{.2} = 1.2M // 2500 \cong 2500$$

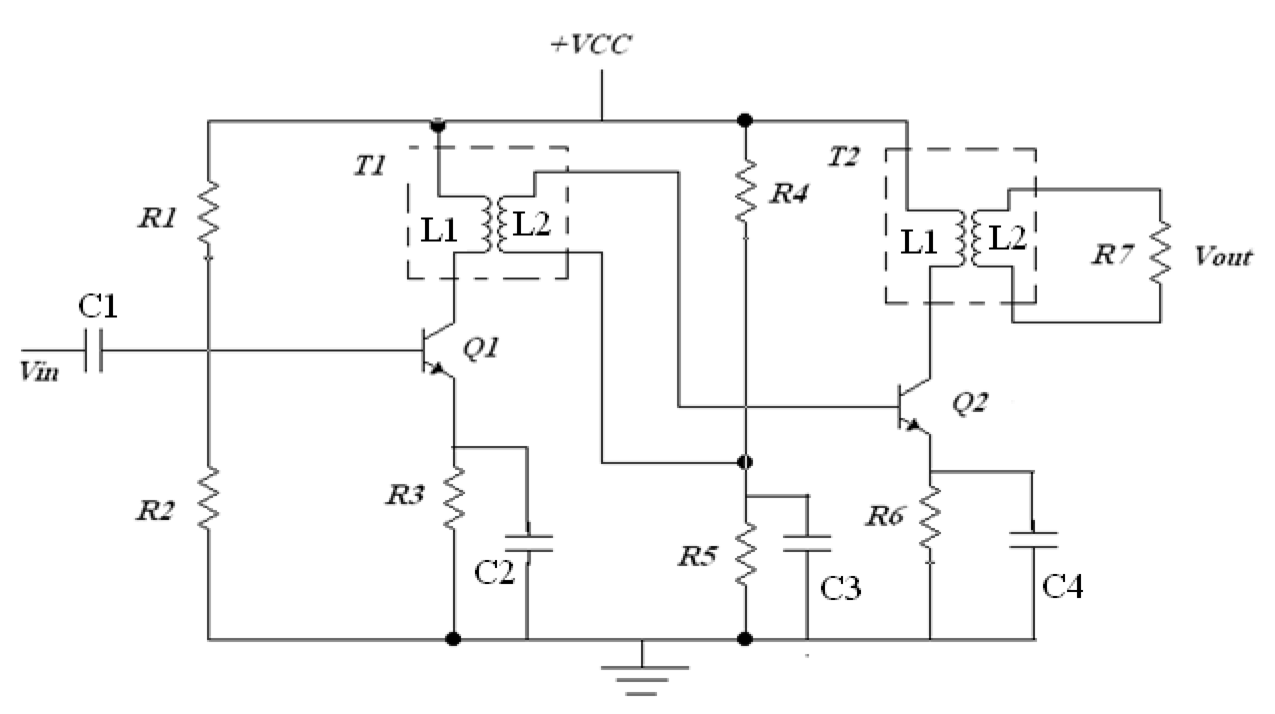
$$\because XL >> ri_{.2}$$

$$Av_{.1} = \frac{ri_{.2}}{re_{.2}} = \frac{2500}{25} = 100$$

$$Av = Av_{.1} \times Av_{.2} = 100 \times 240 = 24000$$

$$Gv = 20Log_{10}24000 = 87.6dB$$

3. الاقتران بواسطة محولة
Transformer Coupling



مكبر متعدد المراحل اقتران بواسطة المحولة

يتلخص عمل الدائرة بما يلي :-
عند دخول الاشارة عن طريق المتسعة (C1) على قاعدة الترانزستور (Q1) تظهر بعد تكبيرها على الملف الابتدائي للمحولة (T1) وتنتقل عبر الحث للملف الثانوي للمحولة والذي يمثل نقطة دخول لمرحلة التكبير الثانية حيث تكبر بواسطة (Q2) وتظهر عبر الملف الابتدائي للمحولة الاقتران (T2)وبالتالي على اطراف المقاومة (R7) .

ويمكن حساب معاملات الدائرة من العلاقات الرياضية التالية :-

$$\frac{N_1}{N_2} = a \cdots for \cdots T$$

$$r_{i1} = R1 // R2 // \beta_1 re_1$$

$$r_{o1} = a^2 r_{i2}$$

$$AV = \frac{r_{o1}}{r_{e1}}$$

$$r_{i2} = R4 // R5 // \beta_2 r_{e2}$$

$$AV_2 = \frac{r_{o2}}{r_{e2}}$$

$$r_{o2} = a^2 R7$$

ميزات الاقتران بالمحولة **Advantages Transformer Coupling**

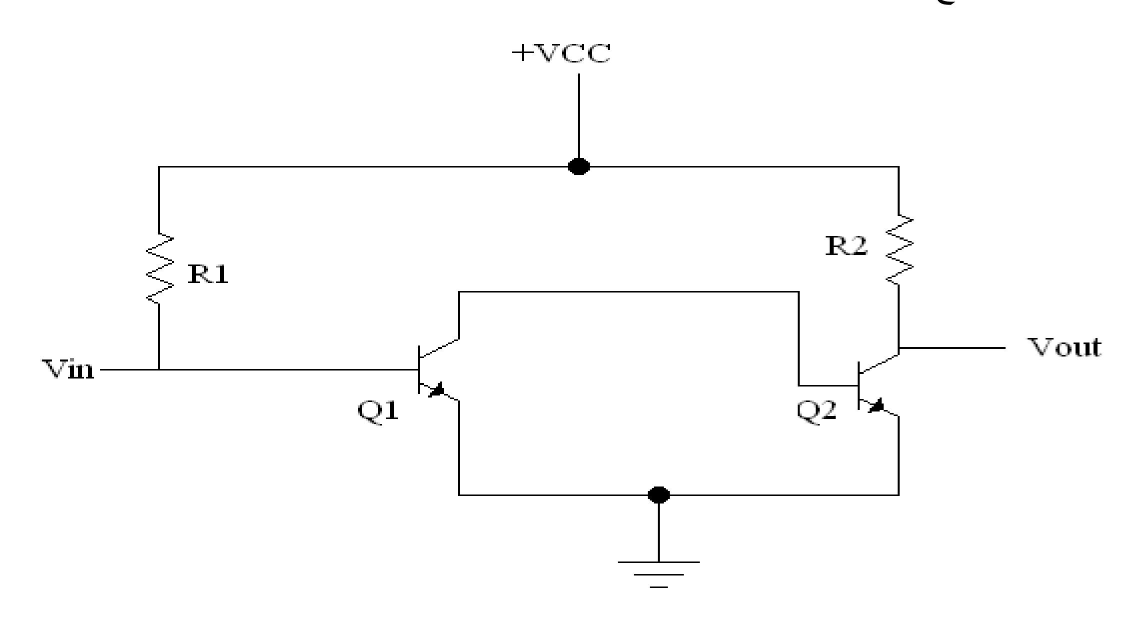
1. الاقتران بالمحولة يكون اكثر كفاءة بسبب انخفاض مقاومة الملف الابتدائي
2. الحصول على ربح عالي بالفولتية
3. حصول توافق بين مراحل التكبير
4. الاقتران بالمحولة يتلائم مع الربط بمحولات الطاقة (TRANEDUSER) ذات الممانعات الواطئة مثل السماعات الخارجية في المراحل الاخيرة من المكبرات.

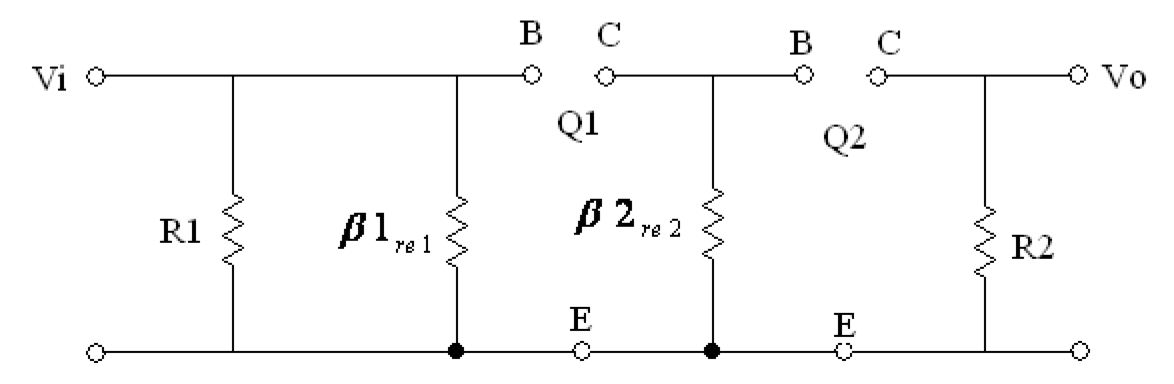
مساوئ الاقتران بالمحولة **disadvantage**

1. الاقتران بالمحولة ذو كلفة عالية وحجم كبير لوجود القلب الحديدي
2. الاقتران بالمحولة غير مرغوب في مكبرات الترددات الراديوية بسبب التداخل الكهرومغناطيسي للمحاثة
3. الاستجابة الترددية تكون قليلة
4. الاقتران بالمحولة يميل لحصول تشوية بالاخراج يدعى تشوية (hum)طنين

الاقتران المباشـــــــــــــــــر
Direct – Coupling

في هذا النوع من الاقتران المكبرات لاتستخدم في الاقتران العناصر المتحسسه للتردد مثل المتسعة والملف او المحولة حيث يربط خرج الترانزستور مباشرة" بقاعدة الترانزستور لمرحلة التكبير التالية وهكذا وحس ماموضح بالشكل ادناه :-





الدائرة المكافئة لمكبر متعدد المراحل اقتران مباشر

لحساب الربح AVفي هذا النوع من الاقتران حسب العلاقات الرياضية التالية :-

Advantages of Direct Coupled ميزات الاقتران المباشر

1. ترتيب دائرة الاقتران المباشر بسيط وغير معقد
2. معتدلة الثمن
3. تمتاز باستجابة ترددية مسطحة
4. هذا الاقتران لدية القدرة على تكبير التيار للترددات المنخفضة

Disadvantages مساوئ الاقتران المباشر

1. لايمكن في هذا النوع من الاقتران تكبير الترددات العالية
2. استقرار ردىء في درجات الحرارة

Application تطبيقات هذا النوع من الاقتران

1. يستخدم في دوائر المنظمات في مجهزات القدرة
2. المكبرات النبضية
3. دوائر الكمبيوتر
4. اجهزة القياس الالكترونية

$The \cdot first \cdot stage$

$$Av_1 = \frac{ro_1}{re1}$$

$The \cdot second \cdot stage$

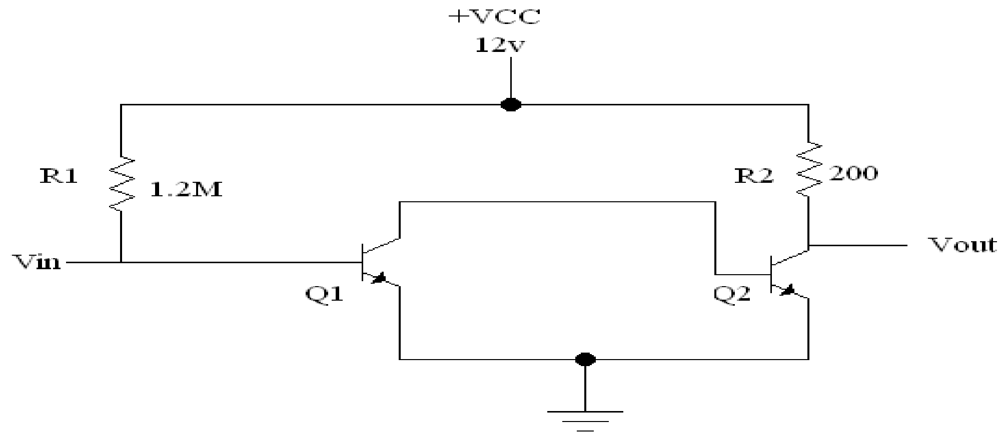
$$Av_2 = \frac{ro_2}{re_2}$$

$$AV = Av_1 \times Av_2$$

EXAMPLE مثال

مكبر متعدد المرحل اقتران مباشر موضح باشكل ادناه احسب

(β1=100, β2=50) , ri -5 Gp(dB) -5 Gv (dB) -4 Av2 -3 AV1- 2 Ai -1



Solution

$$Ai = \beta_1 \times \beta_2 = 100 \times 50 = 5000$$

$$Av_1 = 1$$

$$Av_2 = \frac{ro_2}{re_2}$$

$$re_2 = \frac{50mv}{IE2}$$

$$I_{B1} = \frac{12}{1.2M\Omega} 10\mu A$$

$$I_{C1} = \beta_1 I_{b1} = 100 \times 10 = 1000\mu A$$

$$I_{E1} = I_{C1} = 1000\mu A = 1mA$$

$$I_{B2} = I_{c1} = 1mA$$

$$I_{C2} = \beta_2 I_{B2} = 50 \times 1 = 50mA$$

$$I_{E2} = \frac{50mv}{re_2} \Rightarrow r_{e2} = \frac{50}{50} = 1\Omega$$

$$r_{o2} = 200\Omega$$

$$\therefore Av_2 = \frac{200}{1} = 200$$

$$AV = Av_{1\times} Av1 \times 200 = 200$$

$$Gv = 20\log_{10} AV = 20\log_{10} 200 = 46dB$$

$$Ap = AV \times Ai = 200 \times 5000 = 10^6$$

$$Gp = 10\log_{10} 10^6 = 60dB$$

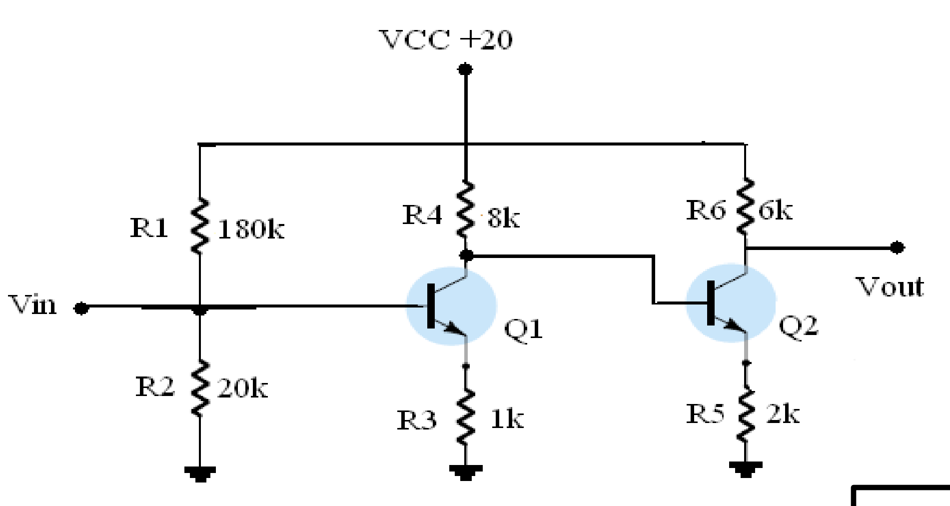
$$re_1 = \frac{50mv}{I_{E1}} = \frac{50}{1} = 50$$

$$ri = R1 // \beta_{1re} = 1.2M\Omega //(100 \times 50) = 5k\Omega$$

Example مثال

في دائرة المكبر متعدد المراحل اقتران مباشر الموضحة ادناة اذا علمت ان $\beta1=\beta2=100$
احسب :-

1. AV1
2. AV2
3. AV(dB)



Solution

$$r_{o.1} = R4 // \beta_{2(re.2+R5)}$$

$$r_{e.2} = \frac{50mv}{I_{E.1}}$$

$$VB_1 = \frac{R2}{R1+R2}VCC = \frac{20k}{180k+20k} \times 20 = 2v = V_{E.1}$$

$$I_{E.1} = \frac{VE}{RE} = \frac{2}{1k} = 2mA$$

$$I_{E.2} = \frac{Vcc - I_{E.1}R4}{R5} = \frac{20-2\times 8}{2} 2mA$$

$$r_{e.2} = \frac{50mv}{I_{E.2}} = \frac{50}{2} = 25\Omega \cdots and \cdots \beta_2(r_{e.2}+R5) \cong 200k\Omega$$

$$r_{o.1} = 8k // 200k = 7.7k \Rightarrow \because r_{e.1} = \frac{50mv}{2} = 25$$

$$Av_1 = \frac{r_{o.1}}{(r_{e.1}+R3)} = \frac{7700}{(25+1000)} 7.5$$

$$Av_2 = \frac{r_{o.2}}{(r_{e.2}+R5)} \cdots \Rightarrow r_{o.2} = R6 = 6000\Omega \Rightarrow \therefore Av_2 = \frac{6000}{(25+2000)} \cong 3$$

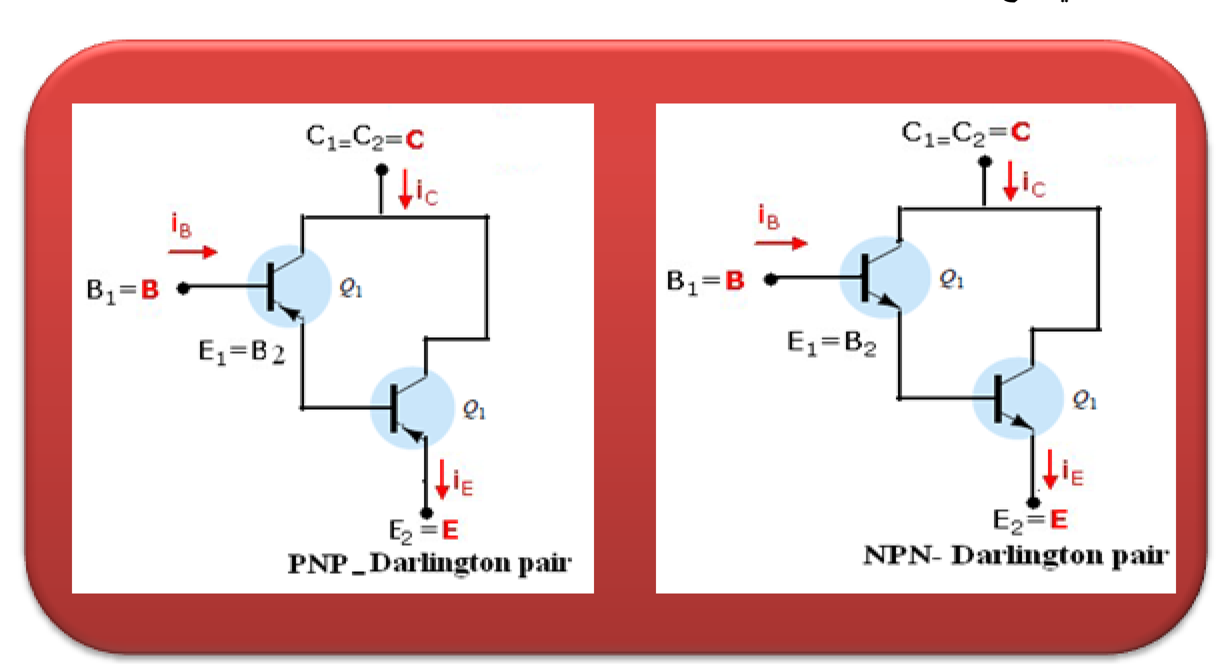
$$AV = Av_1 \times Av_2 = 7.5 \times 3 = 22.5$$

$$Gv(dB) = 20\log_{10} 22.5 =$$

$$r_i = R1 // R2 // \beta_1(r_{e.1}+R3) = 180k // 20k // 100 = 15.25k$$

Darlington pair Amplifier مكبر ازدواج دار لكتن

دائرة ازدواج دارلكتن عبارة عن ترانزستورين مربوطين بطريقة توصيل الجامعين للحصول على طرف الجامع للازدواج وربط باعث الترانزستور الاول بقاعدة الترانزستور الثاني وبذلك يكون طرق القاعدة الاول يمثل قاعدة الازدواج وطرف الباعث الثاني طرف الباعث للازدواج ليشكل بذلك وحدة انتاج واحدة كما تنتج الشركات هذا المنتج بنوعين (PNP) و (NPN) وكما موضح بالشكل ادناه . حيث يمكن اعتبار ازدواج دارلكتن انه يمثل ربط مرحلتين توالي تابع الباعث .



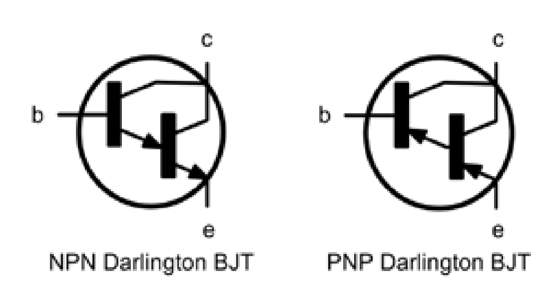
Main Characteristics الخواص الأساسية

1. Current Gain ربح التيار

$$I_{B2} = I_{E1} = (1+\beta_1)I_{B1} \cong \beta_1 I_{B.1}$$

$$I_{E2} \cong \beta_2 I_{B2} = \beta_1\beta_2 I_{B1}$$

$$Ai = \frac{I_{E2}}{I_{B1}} = \beta_1\beta_2 = \beta^2$$



2. ممانعة الإدخال Input Impedance

$$r_{i2} = \beta_2(r_{e2} + R_E) \cong \beta_2 . R_E$$

$$r_{i1} = \beta_1(r_{e.1} + r_{i.2}) = \beta_1 r_{e.1} + \beta_1 r_{i.2} = \beta_1 r_{e.1} + \beta_1\beta_2 R_E \cong \beta_1\beta_2 R_E$$

3. ربح الفولتية Voltage Gain

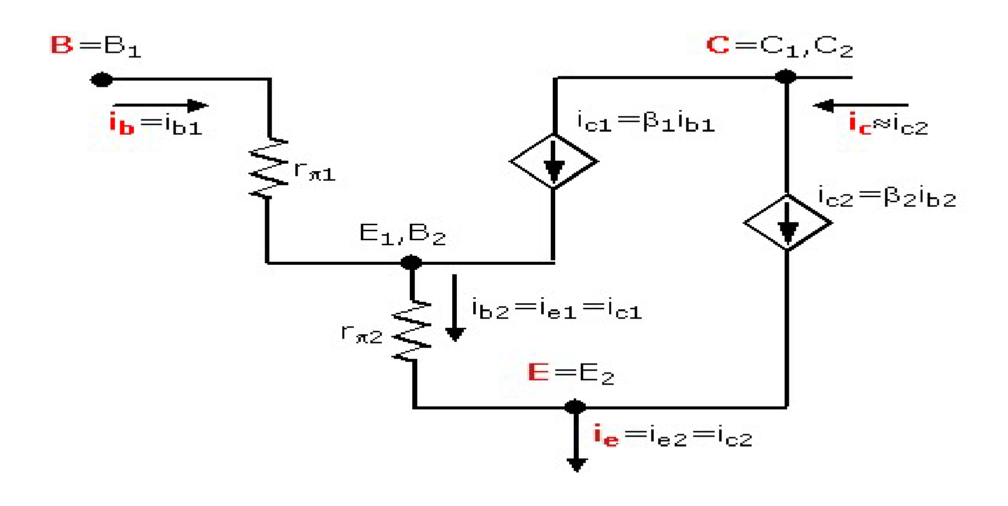
$$Av = \frac{R_E}{r_e + R_E} = \frac{1}{1 + \frac{r_e}{R_E}} \cong 1$$

الفرق بين الترانزيستور العادي والزوج دارلينقتون أن الأول يحتاج إلى 0,7 فولت بين القاعدة والباعث، في حين أن الثاني يحتاج إلى 1,4 فولت بين القاعدة (B)والباعث (E)، لانه كما نلاحظ أن الترانزيستورين المكونان للزوج دارلكتن متصلان على التوالي ومن هنا نجمع 2 من الجهد 0,7 فولت كماان من خصائص ازدواج دارلكتن تبين أن معامل تكبير التيار له كبير جدا يُقدر بعشرات الآلاف من المرات، ومن هنا نرى انه لتشغيل ازدواج دالكتن (أي جعله في حالة (ON) يلزمنا تيار للقاعدة ضعيف جدا، وليس كما هو الحال مع الترانزيستورالمنفرد.

ميزات ازدواج دار لكتن Advantages of Darlington Pair

1. تشكيل ترانزستورات متجاورة في مساحة صغيرة تساعد على بناء الدوائر المتكاملة (IC).
2. يمكن نقل ممانعة الحمل المنخفضة الى ممانعة حمل عالية لذلك يمك استخدام هذة الدائرة في مكبرات العمليات ذات الربح العالي والتي تعتمد على ممانعة الادخال العالية جدا“ مثل دوائر الجامع والمكامل في التطبيقات التناظرية للمكبر .
3. يمتاز ازدواج دار لكتن بالمكونات القليلة
4. يمتاز بربح عالي في β

الدائرة المكافئة للازدواج دار لكتن

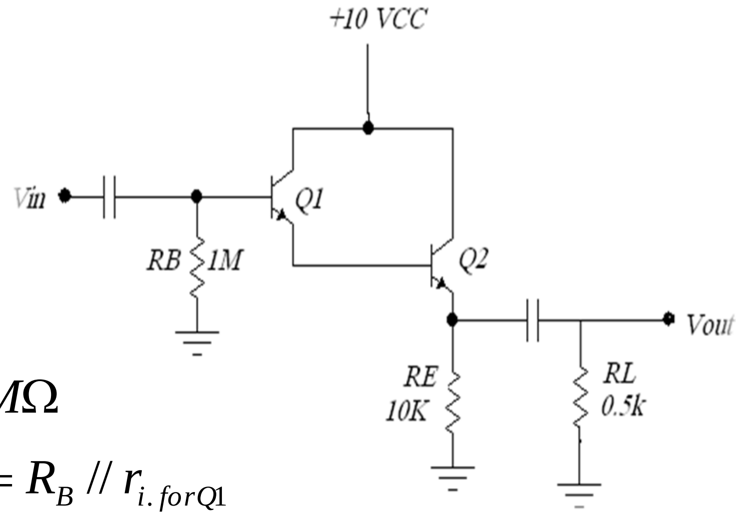


Example مثال

في مكبر ازدواج دار لكتن الموضح بالشكل ادناه احسب

1. β T
2. ممانعة الادخال
3. تكبير الفولتية علماً ان β1=β2=100

Solution



$$\beta_T = \beta_{1\times}\beta_2 = 100\times100 = 10^4$$

$$r_E = R_E \,//\, R_L$$

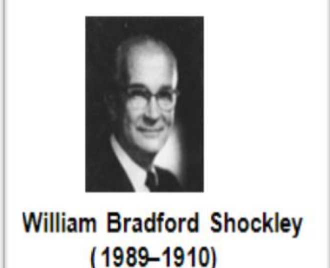
$$= 10k \,//\, 500\Omega = 475\Omega$$

$$r_{i.forQ1} \cong \beta^2 r_E = 10^4 \times 475 = 4.75M\Omega$$

$$input\cdot impedance\cdot of\cdot the\cdot pair = R_B \,//\, r_{i.forQ1}$$

$$1M \,//\, 4.75M = 0.826M$$

$$Av \cong 1$$


William Bradford Shockley
(1989–1910)

مكبرات ترانزستور تأثير المجال
Field-effect transistor amplifiers

المقدمة
INTRODUCTION

قبل عام ١٩٥٢ بدأت الأبحاث لإنتاج مقاومة يمكن التحكم في قيمتها عن طريق تغيير المجال الكهربائي المطبق عليها ، ثم ما لبث أن أعلن العالم شوكلي (Shockley) في عام ١٩٥٢ عن اكتشافه ترانزستور التأثير المجالي.إلا أن استعمال هذا الترانزستور لم يتحقق إلا في عام ١٩٦٢ وذلك لعدم توافر الإمكانيات التقنية والتكنولوجية لتصنيعه في ذلك الوقت. سوف نتعرف في هذه الوحدة علي الأنواع المختلفة لهذا الترانزستور وأوجه الاختلاف بينه وبين عن الترانزستور ثنائي القطبية.

ترانزستور تأثير المجال Field Effect Transistor (FET)

يعرف ترانزستور تأثير المجال بأنه عنصر من عناصر أشباه الموصلات يعتمد في عمله على التحكم في التيار المار خلاله بواسطة المجال الكهربائي.المخطط ادناه يوضح الأنواع المختلفة لترانزستور تأثير المجال.

ترانزستور التأثير المجالي
Field Effect Transistor
(FET)

- ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة
  Junction Field Effect Transistor
  (JFET)
  - N - Channel
  - P - Channel
- ترانزستور تأثير المجال المعدني الاكسيدي شبه الموصل
  Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
  (MOSFET)
  - النوع التعزيزي
    Enhancement type
    - N - Channel
    - P - Channel
  - النوع الاستنزافي
    Depletion type
    - N - Channel
    - P - Channel

ترانزستور تأثير المجال /التركيب والخصائص Construction & Characteristic of JFET

يتكون ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة من بلورة شبه موصل من النوع N أو النوع P طُعم جانبيه ببعض الشوائب للحصول على منطقتين من مادة شبه الموصل من نوع معاكس لنوع البلورة (منطقتان من النوع P في البلورة من النوع N ومنطقتان من النوع N في من النوع P

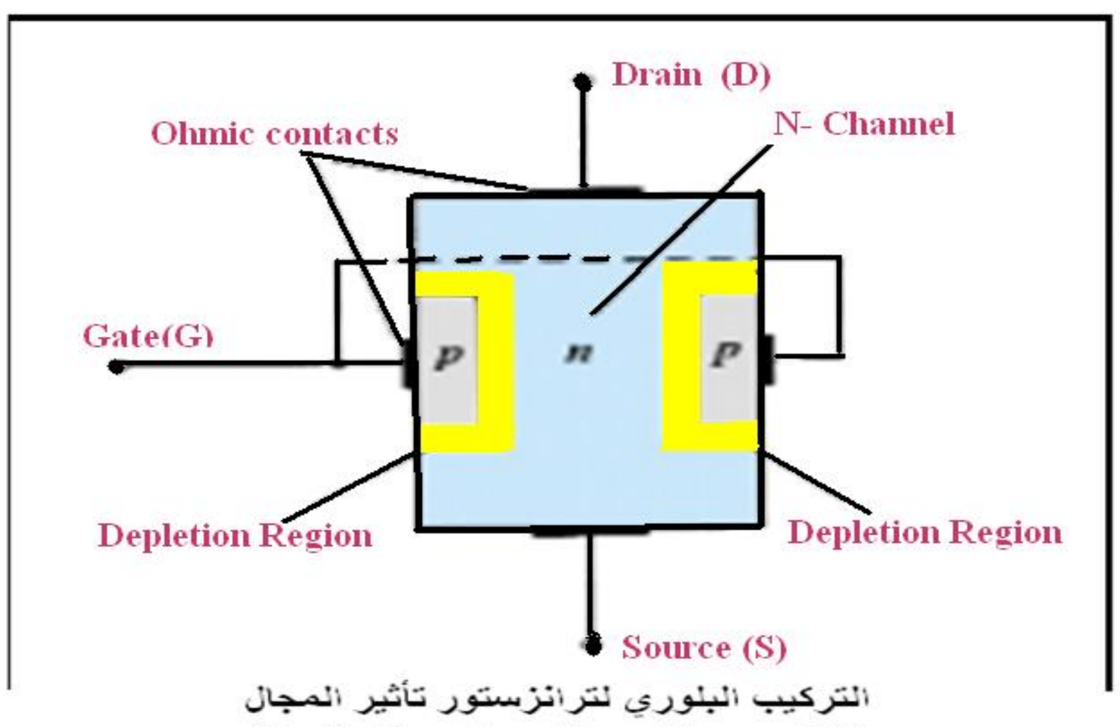
ويطلق على الترانزستور اسم ترانزستور تأثير المجال ذو القناة N (N channel JFET)، إذا كانت مادة البلورة، من النوع N بينما يطلق على الترانزستور اسم ترانزستور تأثير المجال ذو القناة p (P channel JFET) إذا كانت مادة البلورة من النوع P

ويعرف ترانزستور تأثير المجال بالترانزستور أحادي القطبية (Unipolar transistor) وذلك تميزاً له عن الترانزستور ثنائي القطبية (Bipolar transistor) حيث أن التيار المار خلاله يعتمد فقط على حاملات التيار الغالبية (majority carriers) وهي الإلكترونات في حالة القناة N (n-channel) والفجوات في حالة القناة P (p-channel)، بينما يعتمد التيار في حالة الترانزستور ثنائي القطبية على كل من حاملات التيار الغالبية وحاملات التيار الأقلية (minority carriers).

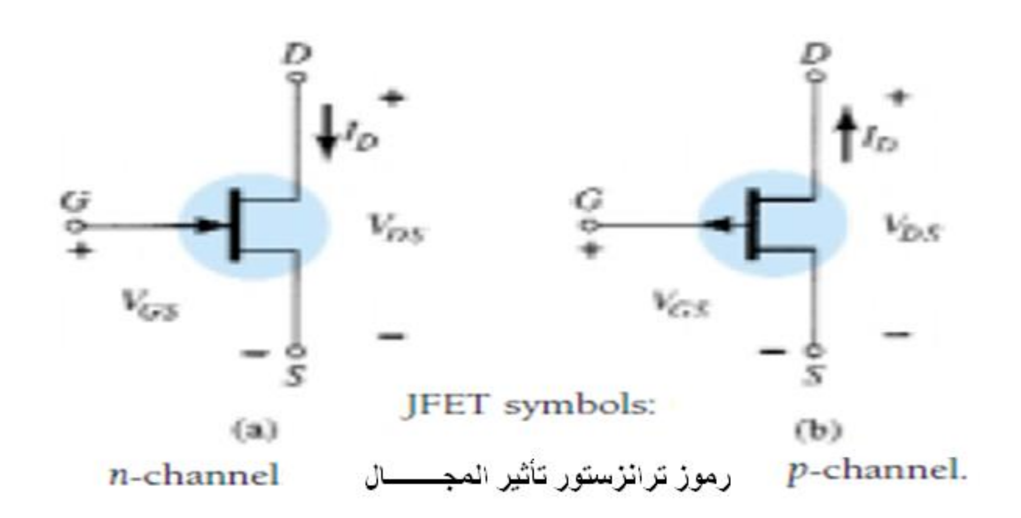
ولترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة ثلاث أطراف هي:

- **المنبع Source (S):** هو طرف البلورة الذي تدخل من خلاله حاملات الشحنة الغالبية (الالكترونات في حالة الترانزستور ذو القناة N والفجوات في حالة الترانزستور ذو القناة P) مكونة بذلك تيار المنبع (Source current) الذي يرمز له بالرمز I_S. ويناظر طرف المنبع (S) في الترانزستور أحادي القطبية طرف الباعث (E) في الترانزستور ثنائي القطبية.
- **المصرف Drain (D):** هو طرف الذي تخرج من خلاله حاملات الشحنة الغالبية مكونة بذلك تيار المصرف (Drain current) الذي يرمز له بالرمز I_D. ويناظر طرف المصرف (D) في الترانزستور أحادي القطبية طرف المجمع (C) في الترانزستور ثنائي القطبية.

- **البوابة (G) Gate:** هي عبارة عن المنطقتين الجانبيتين للبلورة وتكون البوابة من مادة معاكسة لنوع مادة بلورة القناة وتتميز بتركيز عالٍ للشوائب ويناظر طرف البوابة (G) في الترانزستور احادي القطبية طرف القاعدة (B) في الترانزستور ثنائي القطبية.



التركيب البلوري لترانزستور تأثير المجال
Basic Construction Channel-N



JFET symbols:
(a) n-channel　　رموز ترانزستور تأثير المجـــــــال　　(b) p-channel.

ميزات الترانزستور تأثير المجال *Advantages of FET*

ويمتاز ترانزستور تأثير المجال عن الترانزستور ثنائي القطبية بما يلي:

1 - الاستقرار الحراري (thermal stability) حيث لا يعتمد التيار على حاملات التيار الأقلية التي تتأثر بتغير درجة الحرارة.

2 - سهولة تصنيعه واحتلاله مساحة أقل في الدوائر المتكاملة.

3 - أقل ضجيجا.

4 - مقاومة الدخل عالية جداً وتصل إلي عدة عشرات من الميجا أوم.

5 - صلاحيته للترددات العالية أكثر من الترانزستور ثنائي القطبية، حيث تحتاج حاملات الشحنة في الترانزستور ثنائي القطبية إلي زمن للعبور مما يجعله غير فعال للترددات العالية.

6 - له كفاءة (efficiency) أكبر من كفاءة الترانزستور ثنائي القطبية.

7 - يمكن استعماله كحمل فعال (active load) في الدوائر المتكاملة.

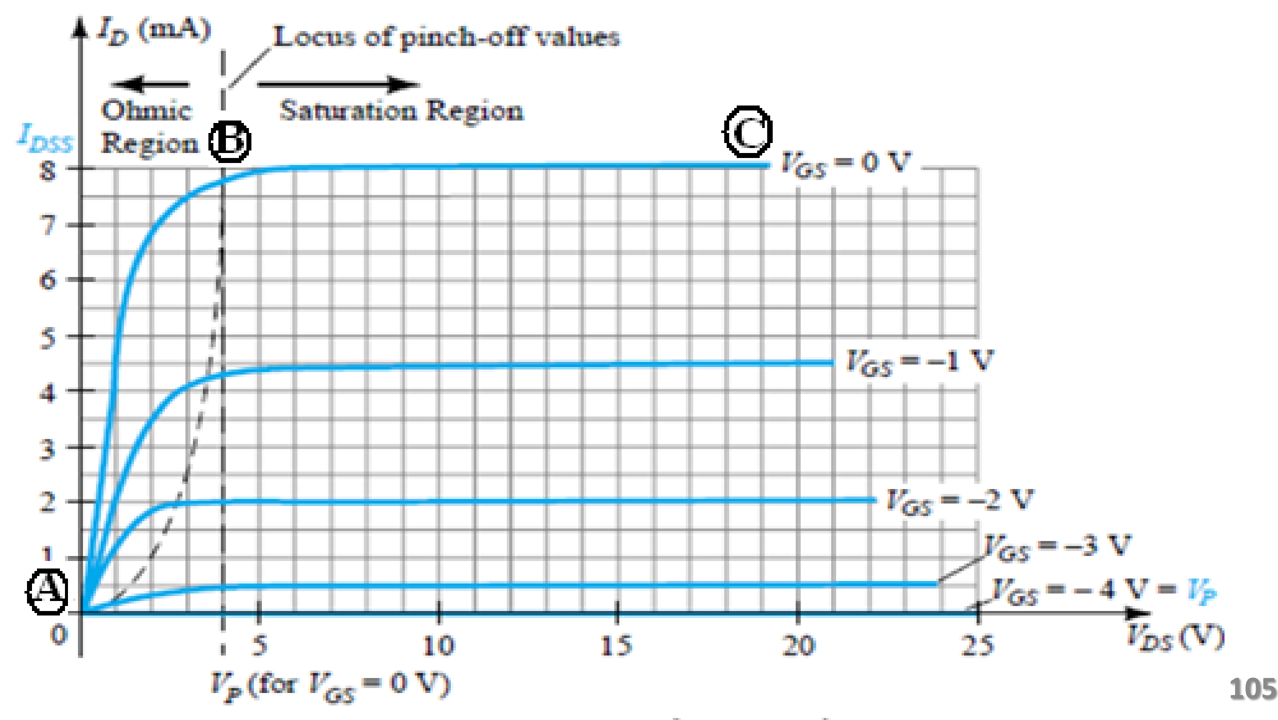
مساوئ FET

1- قلة كسب عرض الحزمه (*gain bandwidth product*)
2- قابلية التحطم عند النقل .

منحني خواص المصرف The Drain Characteristic Curve

شـكل منحي الخواص يبين العلاقة بـين الجهـد V_{DS} والتيـار I_D، بالنسبة للترانزسـتور ذي القنـاة N -
عندما تكون قيمة $V_{GS} = 0$ وعند قيم مختلفة للجهد V_{DS}. عند القيم الصغيرة للجهد V_{DS} فإن عرض منطقة الاستنزاف يكون صغير جداً وبالتالي فإن عرض القناة يكون تقريباً ثابت وهذا يعنى ثبات مقاومة القناة، وبالتالي فإن قيمة التيار I_D تعتمد فقط على قيمة الجهد V_{DS}. ومع زيادة قيمة الجهد V_{DS} يزداد عرض منطقة الاستنزاف ومن ثم يقل عرض القناة وتزداد مقاومتها وبالتالي فإن معدل زيادة التيار I_D بالنسبة للجهد V_{DS} يقل وذلك إلى أن تصل قيمة الجهد V_{DS} إلى القيمة V_{Po} وعندها يصل تيار المصرف I_D إلى قيمة التشبع ويرمز لها بالرمز I_{DSS}. نظراً لأن العلاقة بين التيار I_D والجهد V_{DS} خلال هذه الفترة تتبع قانون أوم فقد أطلق على المنطقة (A B) من منحنى الخواص المنطقة الاومية (ohmic region).

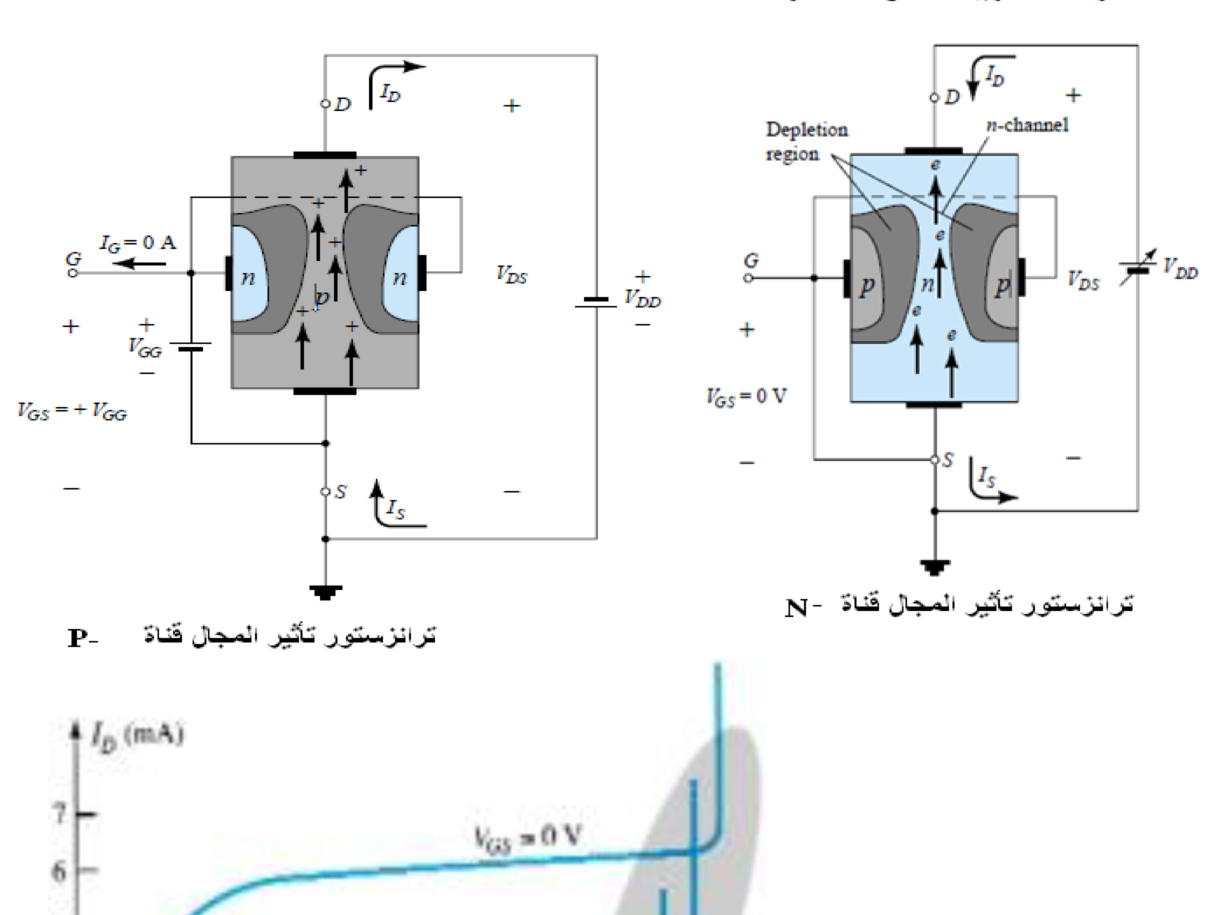
ومع زيادة قيمة الجهد V_{DS} عن القيمة V_{Po} فإن عرض منطقة الاستنزاف يكون كبير للدرجة التي لا تسمح بأي زيادة في قيمة التيار I_D عن قيمة التشبع التي وصل إليها عند قيمة الجهد V_{Po} ولذلك يطلق على المنطقة (B C) من منحنى الخواص منطقة التشبع (saturation region).



منحني خواص المصرف لترانزستور FET- Channel -N

ومع زيادة قيمة فرق الجهد V_{GS} بالاتجاه العكسي فإن فرق جهد الضيق أو الانحصار (V_p) يحدث عند قيم أقل لفرق الجهد V_{DS} ، كذلك يقل تيار التشبع كلما زادت قيمة انحياز البوابة عكسياً. ويلاحظ أن قيمة التيار I_D بعد التشبع لا تعتمد على الجهد V_{DS} وإنما تعتمد أساسا على جهد تحيز البوابة V_{GS}

- **جهد الضيق Pinch-off voltage V_P** : يعرف جهد الضيق أو الانحصار V_P على أنه قيمة الجهد V_{DS} التي تثبت عندها تقريباً قيمة التيار I_D.
- **جهد القطع Cutoff voltage $V_{GS(off)}$:** يعرف جهد القطع $V_{GS(off)}$ على أنه قيمة الجهد V_{GS} التي تجعل قيمة التيار I_D تقريباً تساوي صفر.



ترانزستور تأثير المجال قناة -N

ترانزستور تأثير المجال قناة -P

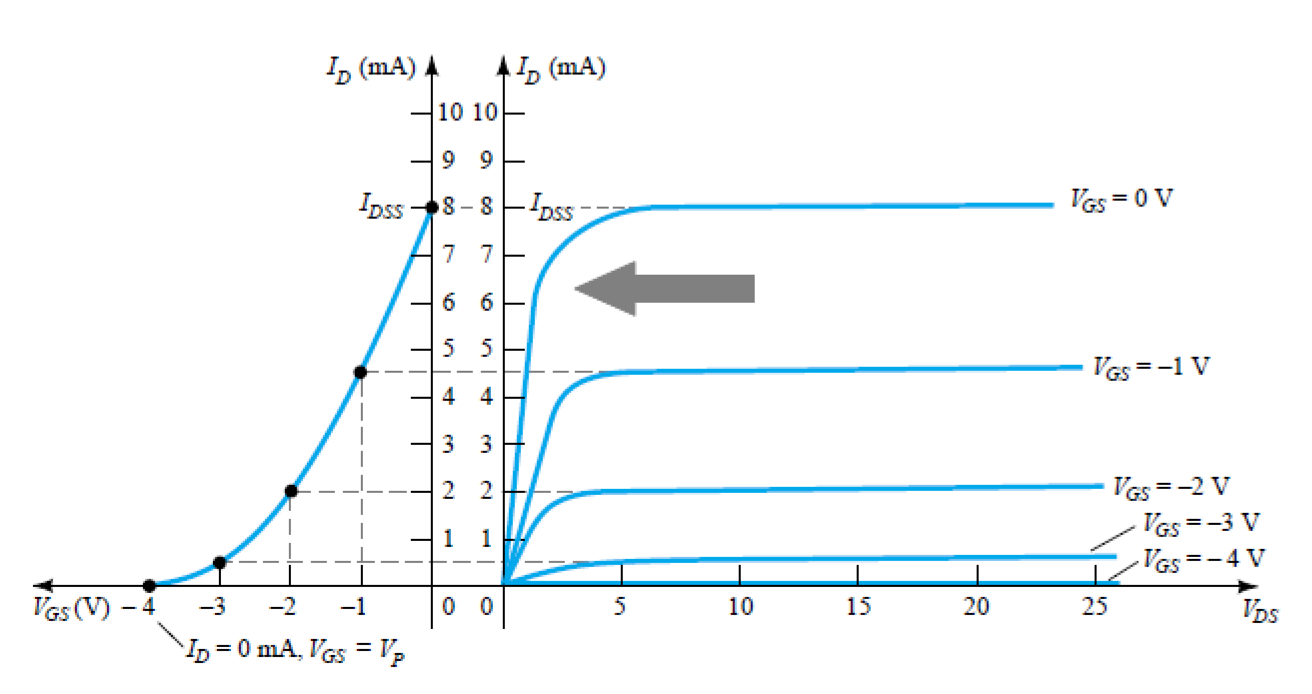
The Transfer Characteristic Curve منحني خواص التحويل

حيث إنه من الشائع استعمال ترانزستور تأثير المجال في منطقة التشبع حيث لا تعتمد قيمة تيار المصرف I_D على الجهد V_{DS} وإنما تعتمد أساسا على جهد تحيز البوابة V_{GS} فإن منحنى خواص التحويل الموضح بشكل ادناه يبين العلاقة بين التيار I_D و الجهد V_{GS}، ويمكن استنتاج هذا المنحنى من منحنيات خواص المصرف برسم قيم التيار I_D مع قيم الجهد V_{GS} المناظرة لها في منطقة التشبع.

وذلك بتطبيق معادلة شوكلي .*Shockley's equation* الموضحة ادناه

معادلة شوكلي *Shockley's equation:*

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$



منحني خواص الانتقال المحصل من منحني خواص المجمع

JFET Parameter معاملات ترانزستور تأثير المجال

- **مقاومة المصرف Drain resistance r_d:** هـي عبـارة عـن معـدل تغير الجهـد V_{DS} بالنسـبة لـتغير التيار I_D عند ثبات قيمة الجهد V_{GS}. وتتراوح قيمة هذه المقاومة تقريبا من 100 kΩ إلي 0.1 MΩ

$$rd = \frac{\Delta vds}{\Delta id}\bigg|_{VGS-constant.}$$

$$or$$

$$rd = \frac{ro}{(1-VGS/Vp)^2}$$

- **الموصلية g_m Transconductance:** هـي عبـارة عـن معـدل تغير تيـار المصـرف I_D بالنسـبة لـتغير الجهد V_{GS} عند ثبات قيمة الجهد V_{DS}، وتتراوح قيمة الموصلية من (0.1mA—— 20mA)/V

$$gm = \frac{\Delta ID}{\Delta VGS}\bigg|_{VDS-constant}$$

ويمكن حساب الموصلية من ميل خواص الانتقال وتقاس بموحدات تدعى السيمنز (S) او (Mho) وقي مقلوب الاوم ℧

حيث انه نشتق معادلة شوكلي وكما يلي:-

$$Id = IDss\left[1-\frac{VGS}{VP}\right]^2$$

$$\frac{dID}{dIDSS} = 2IDSS\left(1-\frac{VGS}{VP}\right)\left(-\frac{1}{VP}\right)$$

$$gm = -\frac{2IDSS}{VP}\left(1-\frac{VGS}{VP}\right)$$

$$if\ .VGS = 0$$

$$gm = gm_o$$

$$\therefore\ gm_o = \frac{2IDSS}{VP}$$

$$\therefore\ gm = gm_0\left(1-\frac{VGs}{VP}\right)$$

- **معامل التكبير μ The amplification factor:** هو عبارة عن معدل تغير الجهد V_{DS} بالنسبة لتغير الجهد V_{GS} عند ثبات قيمة التيار I_D.

$$\mu = \left.\frac{\Delta VDS}{\Delta VGS}\right|_{ID.Constant}$$

$$\mu = gm \times rd$$

- **ممانعة المصرف المستمرة DC-Drain Resistance-RDs**

وتسمى مقاومةالقناة المستمرة او الاومية

$$RD_S = \frac{VDS}{ID}$$

مثال Example

FETترانزستور قناة Nاذا علمت ان Idss=8.7mA , Vp= -3v , VGS= -1v
احسب gm, gmo , ID

Solution

$$ID = IDss(1 - \frac{VGS}{VP})^2 = 8.7(1 - \frac{-1}{-3})^2 = 3.8mA$$

$$gm_o = -\frac{2IDss}{VP} = \frac{-2 \times 8.7}{-3} = 5.8mS$$

$$gm = gmo(1 - \frac{VGS}{VP}) = 5.8(1 - \frac{-1}{-3}) = 3.8mS$$

If- VGS 0 V

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$

$$= I_{DSS}\left(1 - \frac{0}{V_P}\right)^2 = I_{DSS}(1 - 0)^2$$

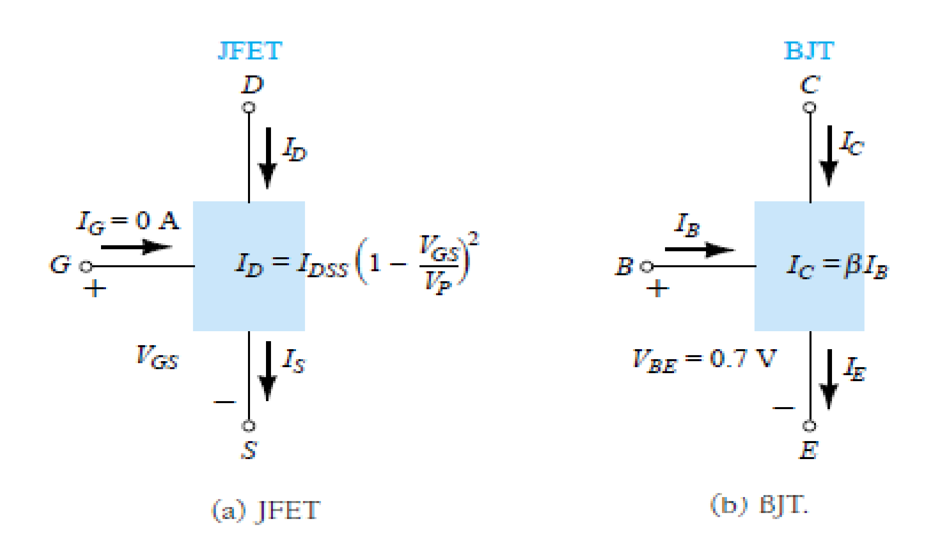
$$\boxed{I_D = I_{DSS}\big|_{V_{GS} = 0\text{ V}}}$$

Substituting $V_{GS} = V_P$ yields

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_P}{V_P}\right)^2$$

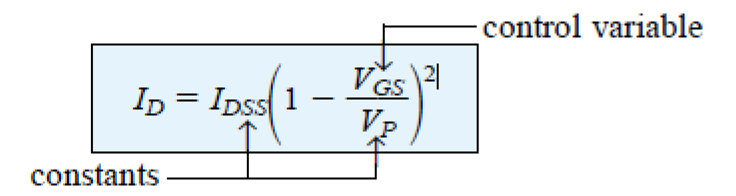
$$= I_{DSS}(1 - 1)^2 = I_{DSS}(0)$$

$$\boxed{I_D = 0\text{ A}\big|_{V_{GS} = V_P}}$$



(a) JFET (b) BJT.

JFET		***BJT***
$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$	$\Leftrightarrow$	$I_C = \beta I_B$
$I_D = I_S$	$\Leftrightarrow$	$I_C \cong I_E$
$I_G \cong 0\text{ A}$	$\Leftrightarrow$	$V_{BE} \cong 0.7\text{ V}$



The transfer characteristics defined by Shockley's equation are unaffected by the network in which the device is employed.

The transfer curve can be obtained using Shockley's equation or from the output characteristics

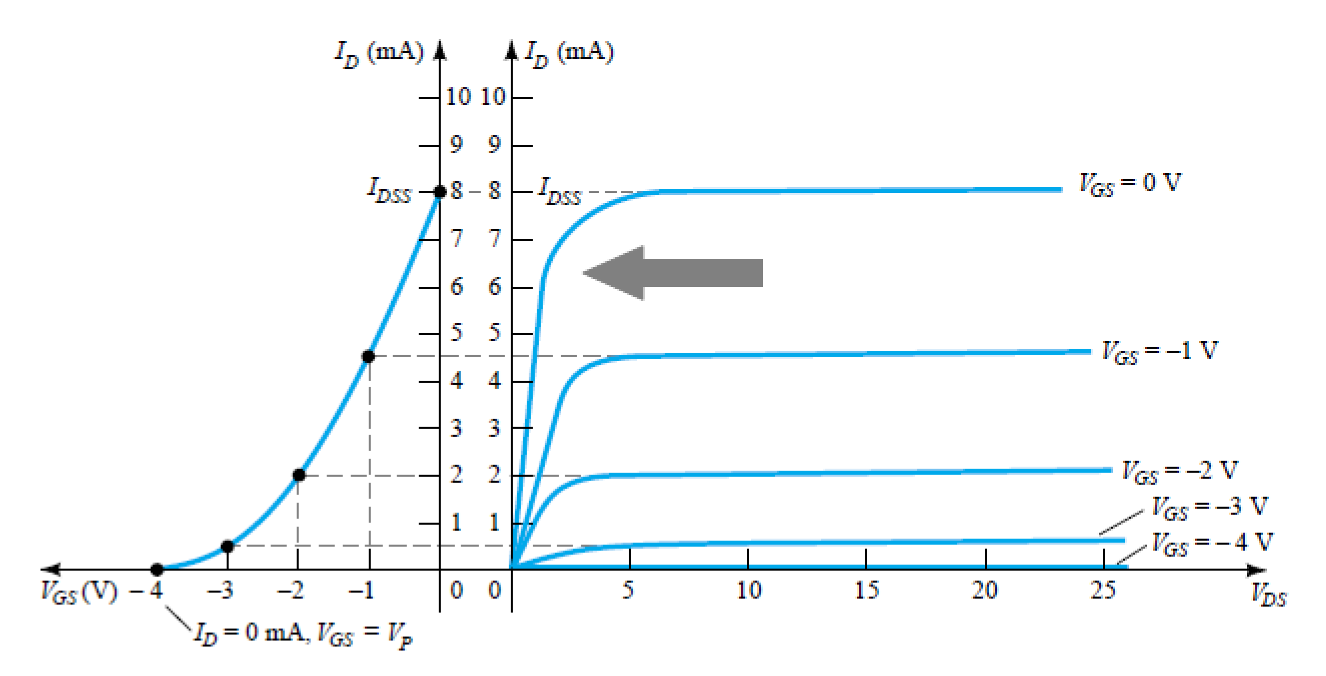
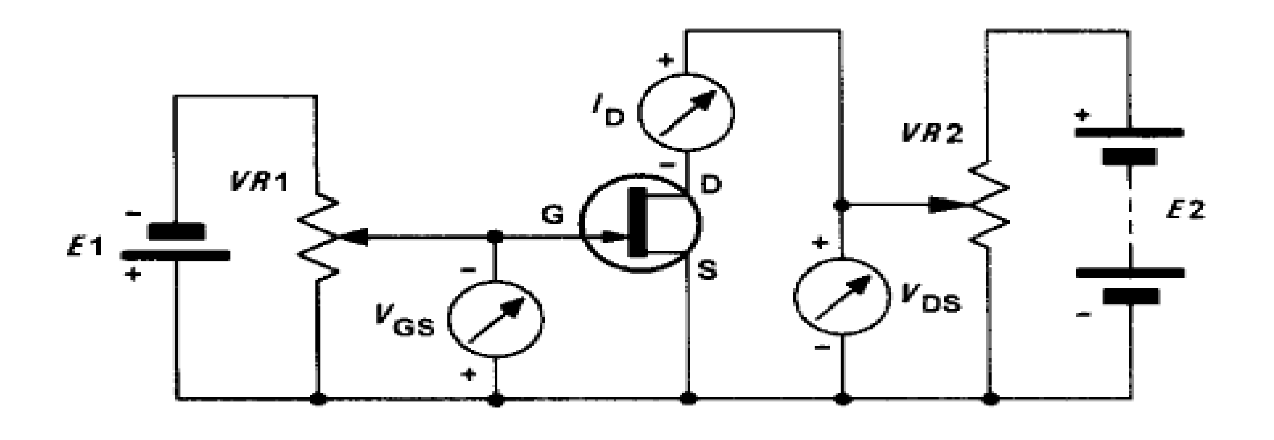


Figure 5.15 Obtaining the transfer curve from the drain characteristics.

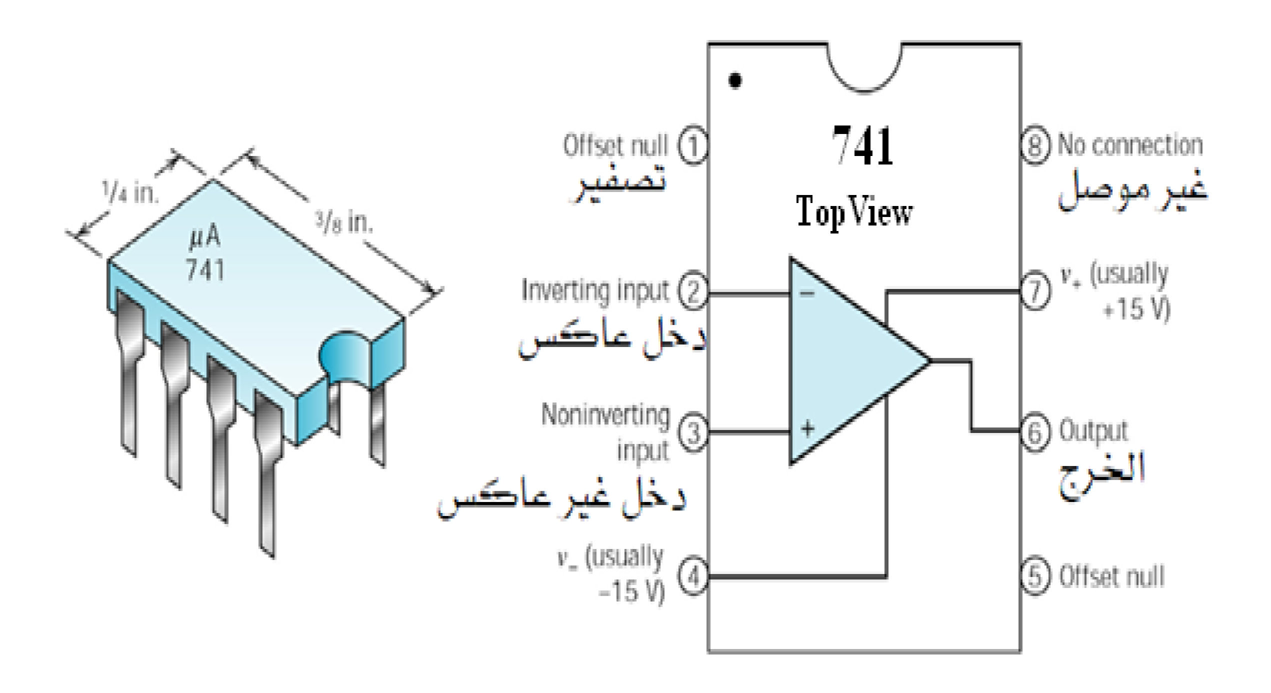
When VGS 0 V, ID = IDSS.

When VGS VP, ID =0 mA.

$$r_d = \frac{r_o}{(1 - V_{GS}/V_P)^2}$$



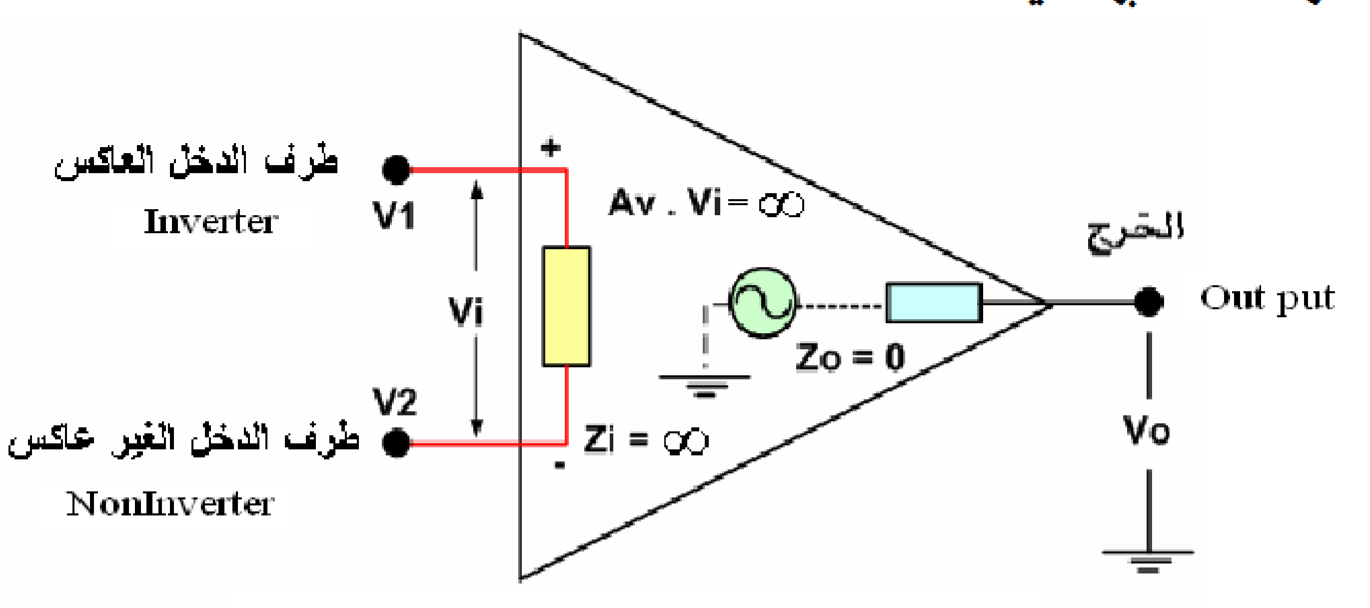
الدائرة العملية لفحص خواص ترانزستور تأثير المجال
N-channel JFET



الشكل الخارجي لمكبر العمليت 741

شكل يوضح التركيب الداخلي لمكبر العمليات 741

الدائرة المكافئة لمكبر العمليات :



الشكل يبين الدائرة المكافئة لمكبر العمليات المثالي Ideal OP - Amplifier

يمكن إضافة طرفين آخرين لضبط الخرج على الجهد صفر عندما تكون إشارة الدخل صفرا (الطرف رقم 1 والطرف رقم 5) تسمى هذه الأطراف أطراف تصفير الإزاحة (Offset Null). نضبط الخرج على الصفر عندما يكون الدخلان متساويين.

الخواص الأساسية للمكبر العمليات (Characteristics of op . amp)

عندما نتكلم عن خواص مكبر العمليات فسوف نفرق بين مكبر العمليات المثالي ومكبر العمليات غير المثالي مع العلم أن المكبر المثالي لايمكن بناؤه على الإطلاق . ويمكن تلخيصها كما يلي

أ - **الخواص المثالية للمكبر** (Ideal properties) :

١) كسب الجهد للمسار المفتوح يساوي مالا نهاية AVOL =C .

٢) مقاومة الدخل تساوي مالانهاية Rin = ∞ .

٣) مقاومة الخرج تساوي صفر RO = 0 .

٤) له حيز ترددات غير محدود (يساوي مالانهاية) B = ∞ .

٥) نسبة رفض (نبذ) الأسلوب المشترك تساوي مالانهاية CNMMR = ∞ .

٦) خواصه (معاملاته) لاتتأثر بتغيرات درجة الحرارة .

ب - الخواص العملية للمكبر العمليات Practical Characteristic of OP- amp

١) كسب الجهد للمسار المفتوح كبير جداً حوالي $AVOL > 100\ 000$.

٢) مقاومة الدخل كبيرة جداً $Rin > 200K\Omega$.

٣) حيز الترددات كبير جداً .

٤) نسبة رفض الأسلوب المشترك كبير جداً $CMMR = 90\ Db$.

٥) أهم خواصه يمكن التحكم في معاملاته عن طريق العناصر الخارجية الموصلة معه .

وكما ذكرنا يوجد العديد من أنواع المكبرات التشغيلية منها $\mu A\ 708$ وأشهرها المكبر التشغيلي 741 والذي له الخواص العملية الآتية نقلاً من جدول البيانات .

١) كسب المسار المفتوح $AVOL > 200\ 000$.

٢) مقاومة الدخل $Rin = 2\ M\Omega$.

٣) $RO = 75\Omega$.

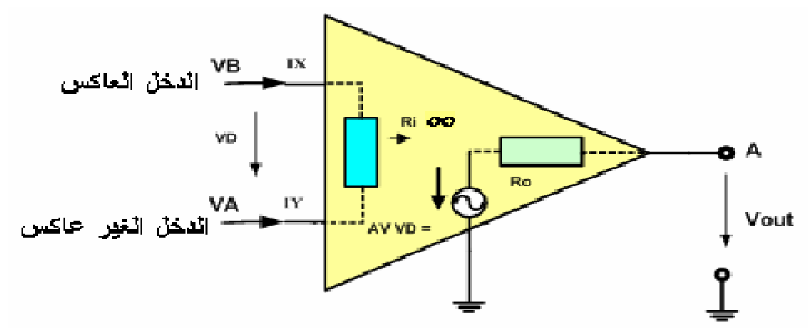
٤) $CMMR = 90\ dB$.

أساسيات تصميم دوائر مكبر العمليات :

يوجد قاعدتان أساسيتان في غاية الأهمية لتبسيط تصميم دوائر مكبر العمليات هما :

أ - القاعدة الاولى:

لايدخل أي تيار داخل المكبر بمعنى أن طرفي دخل المكبر لا يسحبان أي تيار(وذلك لأن مقاومة الدخل للمكبر كبيرة جداً) $IX = 0$ ، $IY = 0$.

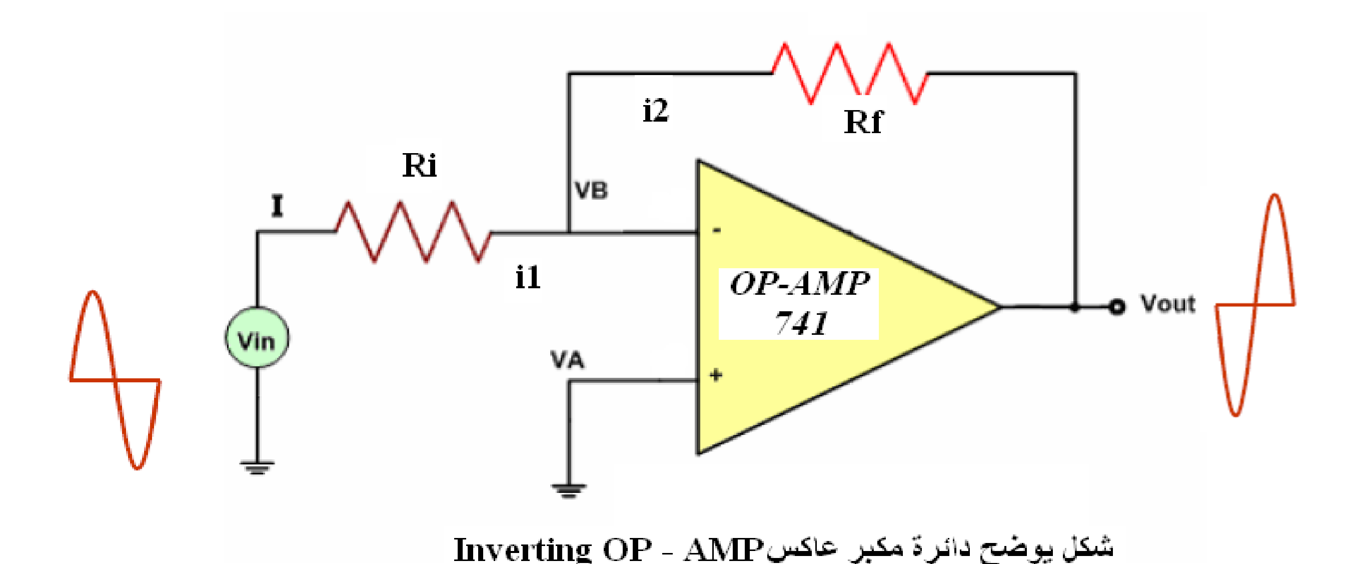


ب - القاعدة الثانية:

الجهد عند الدخل العاكس (عندالنقطة A) يساوي الجهد عند الدخل غير العاكس (النقطة B) $VA = VB$. أي ان الجهد بين طرفي الدخل أو فرق الجهدين طرفي الدخل يساوي صفر $VD = VA - VB \rightarrow 0$ $VD \rightarrow 0$

OP-AMP Application تطبيقات مكبر العمليات

1 /مكبر العمليات العاكس *OP-AMP – Inverting*



شكل يوضح دائرة مكبر عاكس Inverting OP - AMP

$$i1 = \frac{vin}{R1} = \frac{v1}{R1}$$

$$i2 = \frac{-vo}{Rf}$$

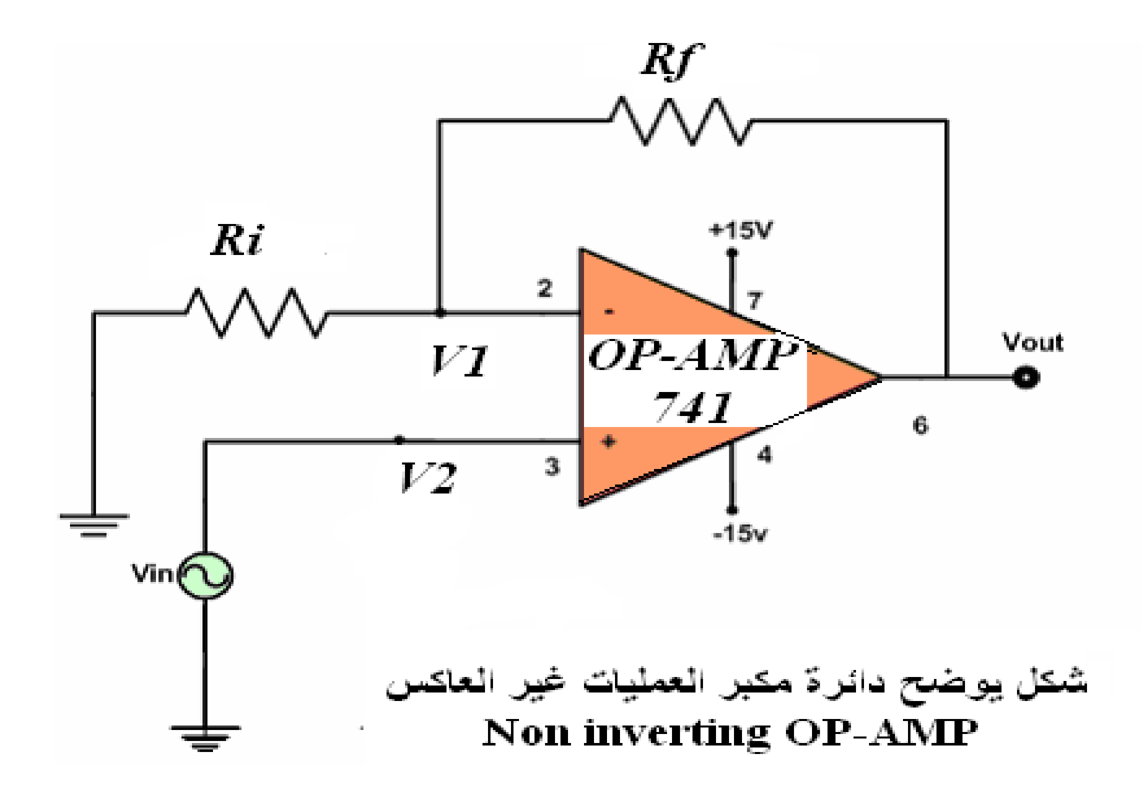
$$i1 + (-i2) = 0$$

or

$$\frac{vi}{R1} + \frac{-vo}{Rf} = o$$

$$\therefore \frac{Vo}{Vi} = -\frac{Rf}{R1}$$

2/ مكبر العمليات غير العاكس Non inverting OP-AMP



شكل يوضح دائرة مكبر العمليات غير العاكس
Non inverting OP-AMP

$$vi = v2 = iR1$$

$$vo = i(R1 + Rf)$$

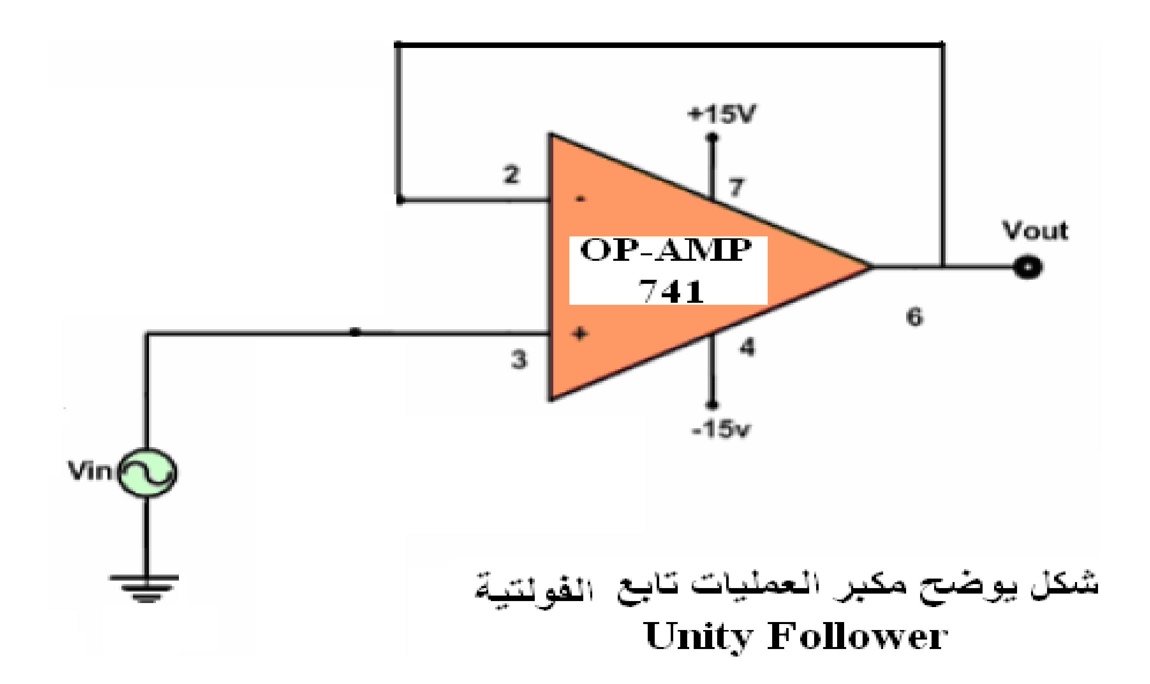
$$AV = \frac{vo}{Vi}$$

$$AV = \frac{i(R1 + Rf)}{iR1}$$

$$Av = \frac{R1 + Rf}{R1}$$

$$\therefore AV = 1 + \frac{Rf}{R1}$$

3 / تابع الفولتيه Unity Follower

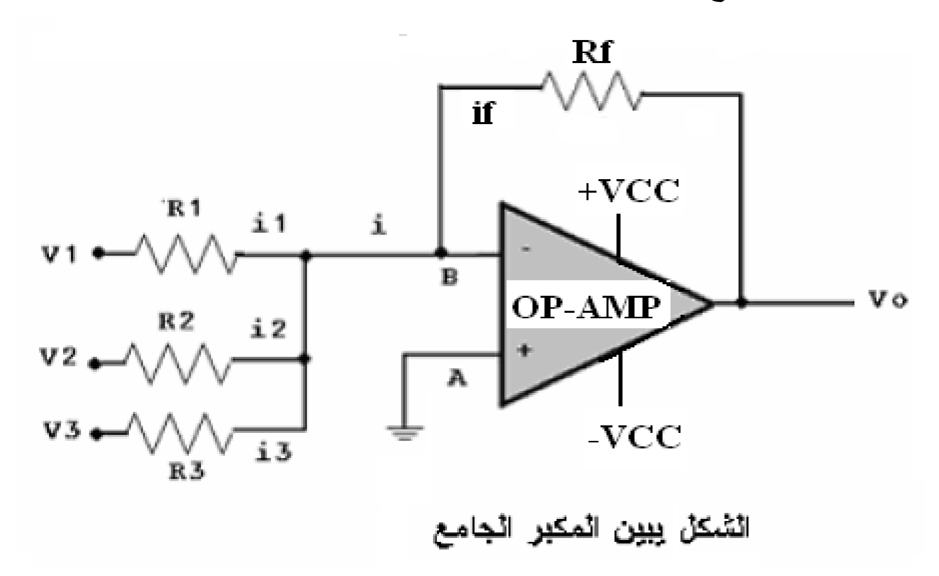


شكل يوضح مكبر العمليات تابع الفولتية
Unity Follower

الدائرة اعلاه تستعمل كمكبر عزل Buffer amplifier)حيث تسمح بانتقال فولتية الادخال الى الاخراج بدون أي تكبير كما يمكن استعمال هذه الدائرة لغرض التوافق بين الممانعات مثلا لمصدر اشارة ذوممانعه عالية مع حمل ذو ممانعة قليله كما يمكن ان تسمى هذه الدائرة بمغير الممانعه (Impedance change).

Rf=Ri=0
Vin ≈Vo
AV=1

4/ مكبر العمليات الجامع Adder OP- AMP



الشكل يبين المكبر الجامع

في كثير من الأحيان تكون مطالب بتجميع أكثر من إشارة في خرج واحد . فمثلاً في حالة التسجيل الصوتى على المسرح يكون هناك أكثر من ميكرفون موضوعين في أماكن مختلفة على خشبت المسرح ويراد تجميع كل هذة الإشارات في خرج واحد ويستخدم هذا النوع من المكبرات في وحدة خلط التردد السمعي، وللتحويل من رقمي إلى تناظري D/A converter .

العلاقة بين الخرج والدخل:

بتطبيق القاعة الأولى: للجهدعند النقطة B يساوي الجهد عند النقطة A أي VB = 0 .

لذلك

$$I1=\frac{V1}{R1} ، \quad I2=\frac{V2}{R2} ، \quad I3=\frac{V3}{R3} \longrightarrow ①$$

وبتطبيق القاعدة الثانية: IX = 0 اذاً

$$I = I1 + I2 + I3$$

وبما ان VO = - I R4 فإن

$$VO = -R4\ (\ I1 + I2 + I3\ ) \longrightarrow ②$$

وبالتعويض من المعادلة (1) في المعادلة (2)

يمكن حساب جهد الخرج ومعامل كسب الجهد من هذه العلاقة :

$$VO = -R4\left(\frac{V1}{R1}+\frac{V2}{R2}+\frac{V3}{R3}\right) \longrightarrow ③$$

عندما $R1 = R2 = R3 = R4$ تصبح المعادلة كمايلي

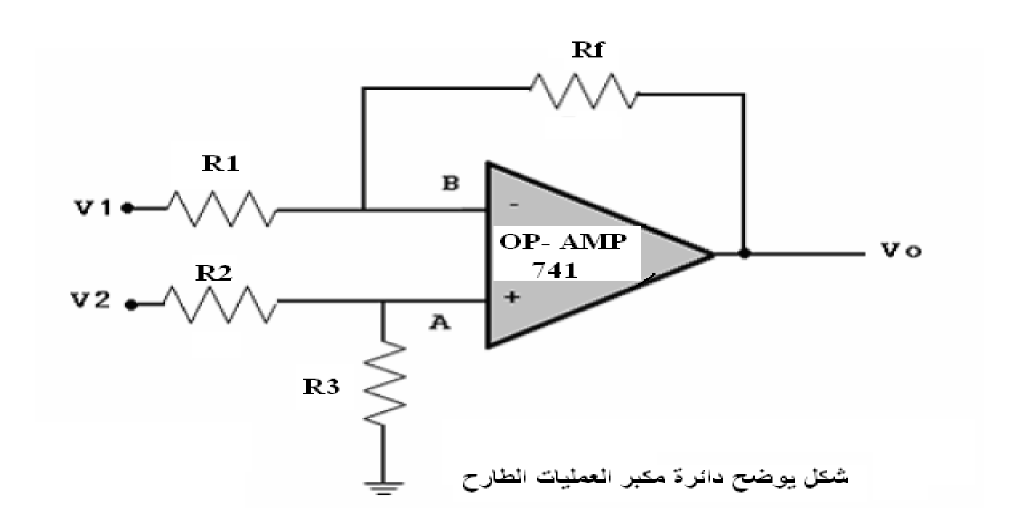
$$VO = -(V1 + V2 + V3) \longrightarrow ④$$

ملاحظة:

١.من المعادلة (4) جهد الخرج يساوي مجموع جهود الدخل ولكن بإشارة سالبة .

٢.الإشارة السالبة في المعادلة السابقة تعني وجود فرق طور بين الدخل والخرج قدره $180°$.

5/ مكبر العمليات الطارح Subtractor OP- AMP



شكل يوضح دائرة مكبر العمليات الطارح

المكبر الطارح كما بالشكل يوضح الدائرة الأساسية للمكبر الفرقي والذي يستخدم لتكبير الفرق بين جهدي طرفي الدخل . وهذا المكبر يمكن أن يسمى باسم مكبر أجهزة القياس Insturmentation Amplifier حيث يستخدم كمكبر لتكبير الإشارات صغيرة المستوى

$$Vo1 = AV * V1$$

$$\therefore Vo1 = -\frac{Rf1}{R1}$$

$$Vo2 = (1 + \frac{Rf\,2}{R2})$$

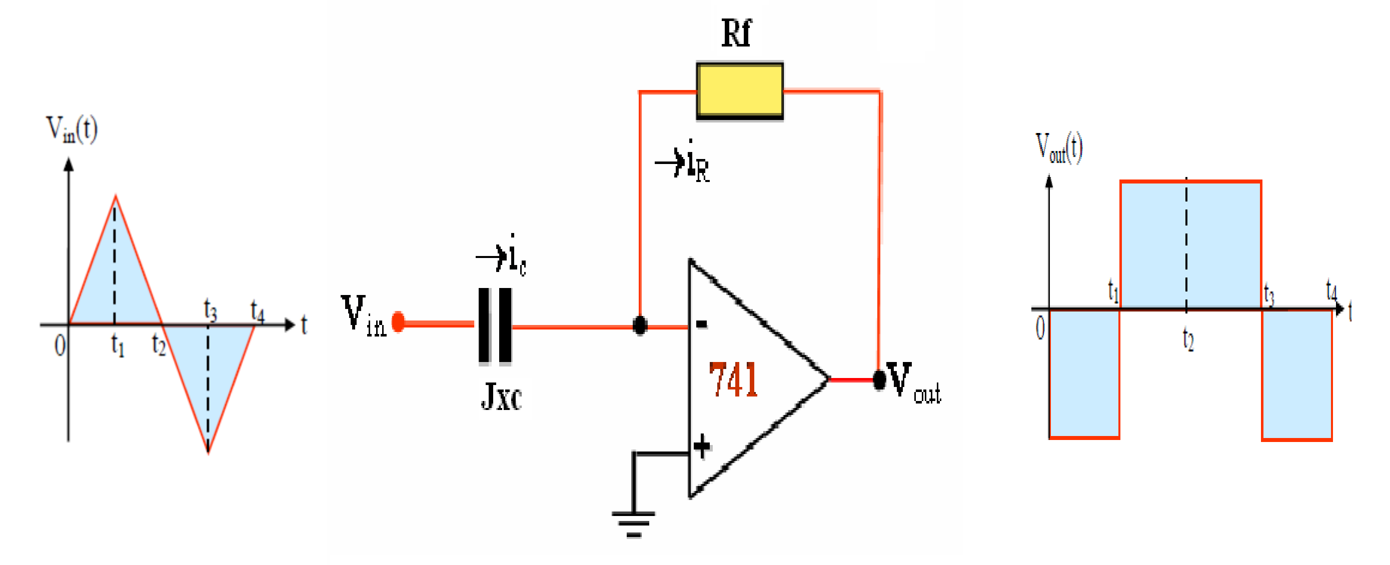
$$\therefore VO = (-\frac{Rf\,1}{R1})v1 + (1 + \frac{Rf\,2}{R2})$$

$$if R1 = R2, Rf\,1 = Rf$$

$$VO = -v1 + 2v2$$

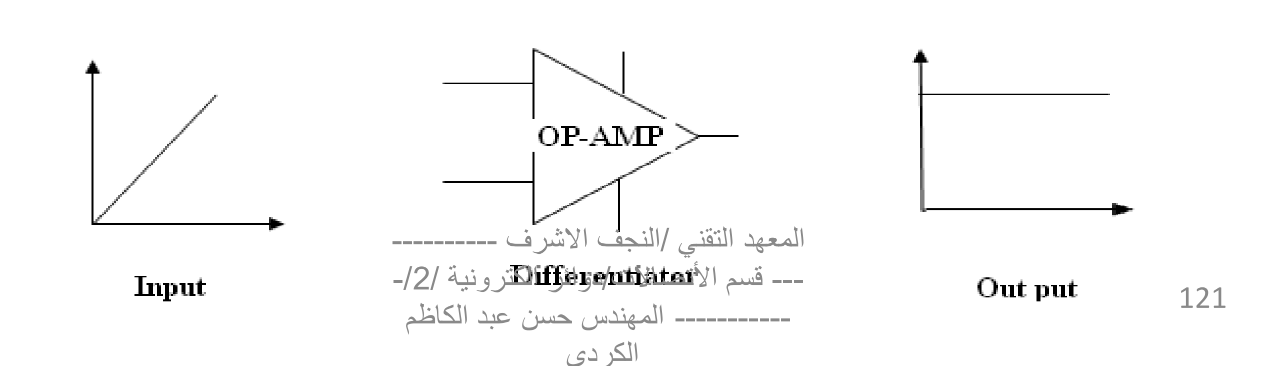
$$\therefore VO = 2v2 - v1$$

6 / مكبر العمليات المفاضل Differentiator OP- AMP



الشكل يوضح دائرة مكبر العمليات المفاضل Differentiator OP-amp

بالإضافة للعمليات الحسابية فإن لمكبر العمليات استخدامات أيضا في عمليات الرياضية مثل التكامل والتفاضل. عملية التفاضل عملية رياضية وهي إيجاد معدل التغيير لكمية ما. المفاضل دائرة إلكترونية لإيجاد معدل تغيير إشارة ما. يظهر هذا المعدل في شكل إشارة الخرج. هنا أيضا للمكثف دور في العملية مع مكبر العمليات.



$$I1 = If$$

$$If = -\frac{vo}{Rf}$$

$$i1 = C\frac{dv}{dt}$$

$$\therefore -\frac{vo}{R1} = C\frac{dv1}{dt}$$

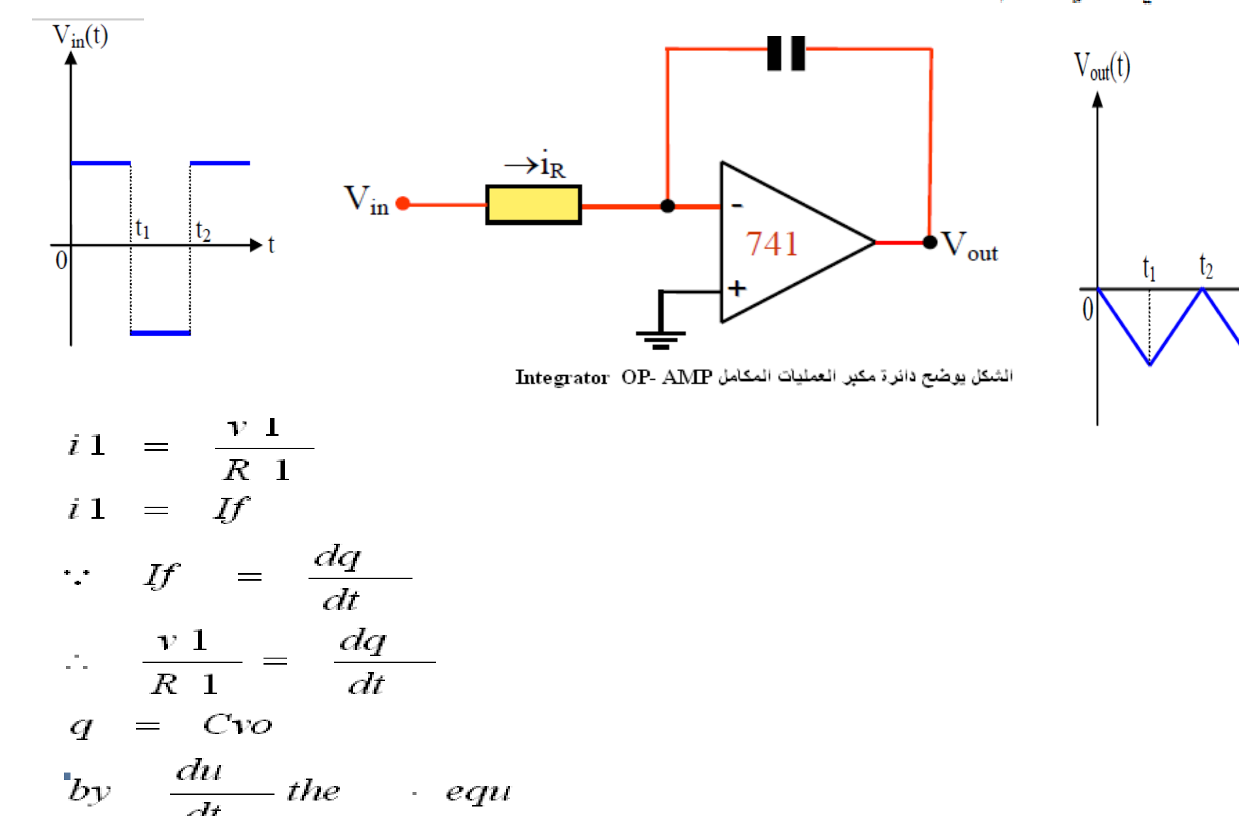
$$Vo = -RC\frac{dvi}{dt}$$

$$AV = \frac{RC}{Jwc}$$

مكبر العمليات المكامل Integrator OP- AMP/ 7

التكامل لإشارة إلكترونية هو عبارة عن الجمع في الزمن لقيمة إشارة دخل الجهد.

العنصر الإلكتروني الذي يقوم بهذه العملية هو المكثف،



الشكل يوضح دائرة مكبر العمليات المكامل Integrator OP- AMP

$$i1 = \frac{v1}{R1}$$

$$i1 = If$$

$$\because If = \frac{dq}{dt}$$

$$\therefore \frac{v1}{R1} = \frac{dq}{dt}$$

$$q = Cvo$$

$$by \; \frac{du}{dt} \; the \; . \; equ$$

$$\frac{dq}{dt} = -C\frac{dvo}{dt}$$

$$\frac{v1}{R1} = -C\frac{dvo}{dt}$$

$$by \int the \; . \; equ$$

$$Vo = -\frac{1}{RC}\int Vidt$$

8/مكبر العمليات مقارن Comparator OP- AMP

المقارنات هي دوائر الكترونية تستخدم مكبر العمليات للمقارنة بين اشارتين اوفولتيتين احدهما ثابته تدعى باشارة المرجعية (Reference signal) والاخرى تتغير مع الزمن والجدول ادناه يوضح المقارنه بين فولتيتي الاخال لدئرة المقارن ومباينتج عنه من فولتية اخراج

Vin		Vout
V1	V2	
V1=v2		zero
V1> V2		+VCC
V1<V2		-VCC

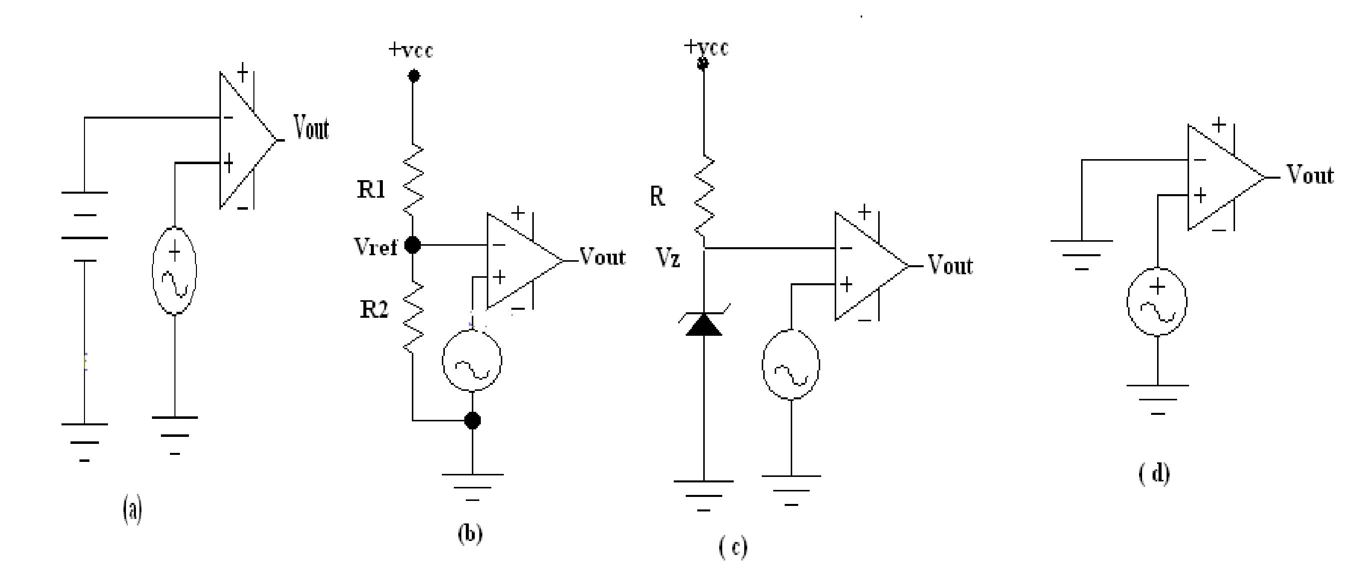
ويمكن ان تحدد اشارة المرجعية من الطرق التاليه:-

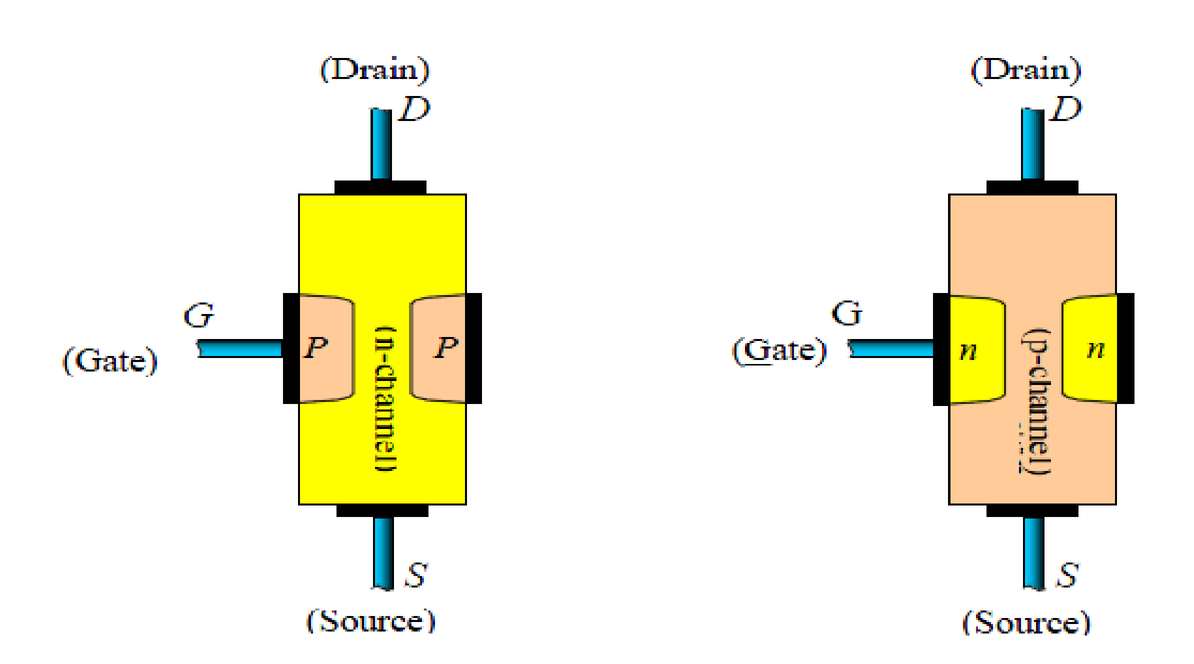
1- مصدر منفصل Battery Refere) كما في الشكل (a)

2- مقسم الجهد (Voltage divider Reference) كما في الشكل (b)

3- زنير دايود (Zener diode Reference)كما في الشكل (c)

4-اشارة الارضي (Zero level Reference)كما في الشكل (d)





شكل (   ) التركيب الأساسي لنوعي ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة (JFET)



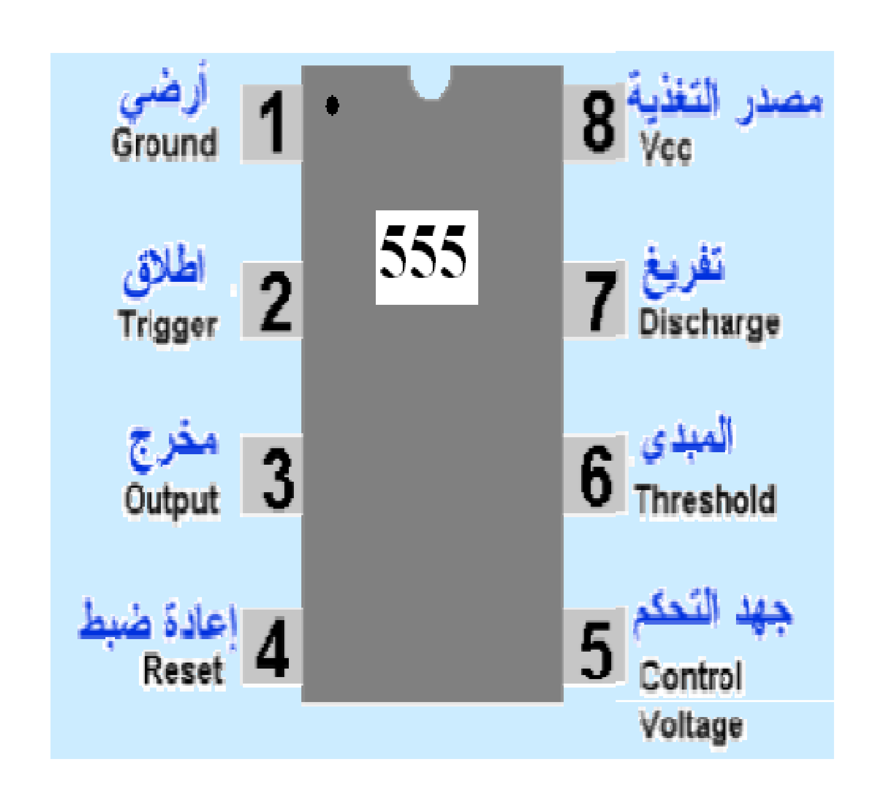
شكل (   ) الرمز التمثيلي لنوعي ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة (JFET)

( ) ترانزستور JFET ذو القناة -p   ( ) ترانزستور JFET ذو القناة -n

المؤقت الزمني 555

المؤقت (Timer) كدائرة متكاملة(IC) تستخدم بشكل واسع في تطبيقات مولدات النبضات (Pulse Generator) في معظم فروع الإلكترونيات.

تم تقديم شريحة المؤقت 555 في بداية السبعينات وهي من أشهر الشرائح المفضلة لدى مصممي وهواة الإلكترونيات حيث يمكن استخدامها في الكثير من التطبيقات. ويرمز لها تجارياً NE555 كما تتوفر تحت الرمز MC1455 وCA555 وLM555 . وتمثل شريحة المؤقت 555 بالشكل3-1:



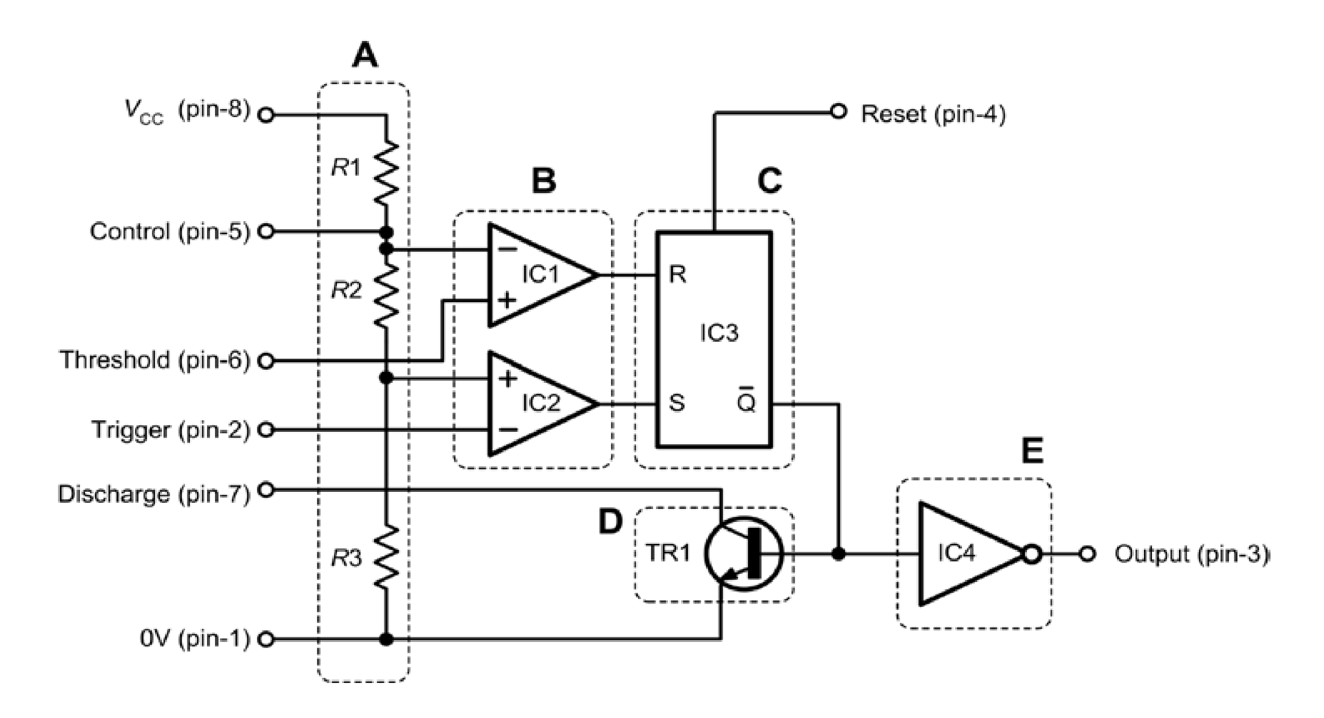
الطرف	اسم الطرف		وظيفة الطرف
1	أرضي	Ground	يربط به الجهد السالب في الدائرة
2	قدح أو إطلاق	Trigger	يستعمل لإرسال النبضة التي تجعل الخرج يرتفع ويبدأ دورة التوقيت
3	خرج	Output	خرج الشريحة
4	إعادة الضبط	Reset	يعيد النبض الخارج من الشريحة إلى وضع منخفض
5	جهد التحكم	Control Voltage	يسمح بتغيير جهد القدح و جهد العتبة وذلك بتسليط جهد خارجي عند هذا الطرف
6	العتبة	Threshold	يستعمل لجعل النبض الخارج يتحول إلى وضع منخفض.
7	تفريغ	Discharge	هذا الطرف مجمع خرج مفتوح يكون متوافق مع الطرف3 ويستخدم لتفريغ الشحنة.
8	مصدر التغذية	Supply Voltage	يربط به الطرف الموجب من مصدر التغذية ويتراوح بين 5 و 18 فولت

الجدول وظائف أطراف شريحة مؤقت 555

المكونات الداخلية للدائرة المتكاملة من نوع 555:

بينا في ما سبق مسميات ووظائف أطراف المؤقت 555 أما الآن فسنوضح التركيب الداخلي للمؤقت 555 والذي يحتوي كما هو مبين في الشكل من:

1. مقارنين A_1 و A_2 .
2. دائرة مذبذب ثنائي الاستقرار (RS).
3. ترانزستور T_1.
4. مجزئ جهد.
5. مكبر خرج A_3.



التركيب الداخلي للمؤقت الزمني 555

ولفهم عمل الدائرة فإننا سنعطي شرحاً مبسطاً لكل جزء منها.

A مجزئ الجهد:

يتكون مجزئ الجهد من ثلاثة مقاومات متساوية القيمة R (قيمة كل منها 5kΩ). يقوم هذا المجزئ بتجزئة الجهد V_{CC} إلى الأجزاء التالية:

- $(\frac{2V_{CC}}{3})$ وهذا الجهد يوصل على الطرف العاكس للمقارن A_1.
- $(\frac{V_{CC}}{3})$ ويوصل هذا الجهد على الطرف الغير عاكس للمقارن A_2.

B المقارنين

المقارن A_1:

- المدخل العاكس لهذا المقارن (الطرف رقم 5) لها جهد موجب ثابت القيمة عند $2/3V_{CC}$ وذلك نتيجة مجزئ الجهد.
- المدخل الغير عاكس لهذا المقارن (الطرف رقم 6) يطبق عليها جهد خارجي يسمى جهد العتبة V_{th} (Threshold Voltage).
- إذا كان V_{th} أكبر من $\frac{2V_{cc}}{3}$ يكون جهد الخرج للمقارن A_1 موجباً. أما إذا كان V_{th} أصغر من $\frac{2V_{cc}}{3}$ يكون جهد الخرج سالباً.
- إذا كان جهد القدح V_{tri} أقل من $\frac{V_{cc}}{3}$ يكون جهد خرج المقارن A_2 موجباً.

أما إذا كان جهد القدح V_{tri} أكبر من $\frac{V_{cc}}{3}$ يكون جهد خرج المقارن A_2 سالباً.

ملاحظة: نظرا لأن الدائرة المتكاملة 555 تستعمل مصدرا واحدا للجهد المستمر فإن جهد خرج المقارن A_1 والمقارن A_2 يأخذ إما القيمة صفر أو $+V_{CC}$ تبعا لمقدار الجهود على طرفيه.

C مهتز احادي الاستقرارية Bistable Multivibrator (RS FLIP-FLOP)

دائرة القلاب RS يحتوي على خرجين Q و'Q لهما حالتان أعلى(High) وأدنى(Low). هذان الخرجان يكونان دائما متعاكسين.عندما يكون Q أدنى يكون 'Q أعلى. وعندما يكون Q أعلى يكون 'Q أدنى.

عندما نطبق جهداً كبيراً نسبيا على الدخل S يشغل الترانزستورT_1. هذا يؤدي إلى حالة قطع الترانزستور T_2 (Cut off). وهكذا يكون Q أعلى و'Q أدنى. وإذا طبقنا جهداً كبيراً نسبيا على الدخل R يشغل الترانزستور الأيمن في حالة التشبع والترانزستور T_1 في حالة القطع ويكون Q أدنى و 'Q أعلى.

دائرة القلاب RS تسمى أحيانا مولد نبضات ثنائي الاستقرار (Bistable Multivibrator).

D الترانزستور T_1:

ويستخدم في تفريغ المكثف والذي يسمى بمكثف التوقيت (Timing Capacitor)

نلاحظ أن خرج دائرة القلاب RS موصل على قاعدة الترانزستور T_1 أي أن جهد القلاب RS هو جهد قاعدة الترانزستور.

- فإذا كان $Q=+V_{CC}$ يكون الترانزستور في الوضع ON ويعمل في نقطة التشبع في هذه الحالة يكون

E دائرة تابع (Buffer):

كما نعرف فإن دائرة مكبر تابع (Buffer) هو مكبر له معامل تكبير مساوياً لواحد وعلى ذلك فإن جهد الخرج عند مخرج التابع (Buffer) يكون مساويا للجهد عند مدخله وهو خرج دائرة القلاب RS.

نلاحظ من الشكل3-2 أنه إذا كان Q=1 يكون جهد الخرج عند الطرف3 هو $+V_{CC}$ وإذا كان Q=0 فإن جهد الخرج عند الطرف3 يكون صفر أي أن:

Q	جهد الخرج عند الطرف3
1	$+V_{CC}$
0	0

وجدير بالذكر هنا أن المؤقت 555 يعمل عند جهود تغذية V_{CC} تتراوح بين 5V إلى 18V وعمليا الطرف 4 (Reset) يوصل على الطرف 8 إلى مصدر الجهد $+V_{CC}$ وذلك لضمان عدم استخدام خارجي.

كذلك عند استعمال المؤقت 555 في الدوائر المختلفة فإننا نوصل بين الطرف5 والأرضي مكثف خارجي سعته 0.01µF يعمل كمرشح (Filter) لتثبيت الجهد عند هذه النقطة عند القيمة ($\frac{+2V_{CC}}{3}$) تماماً.

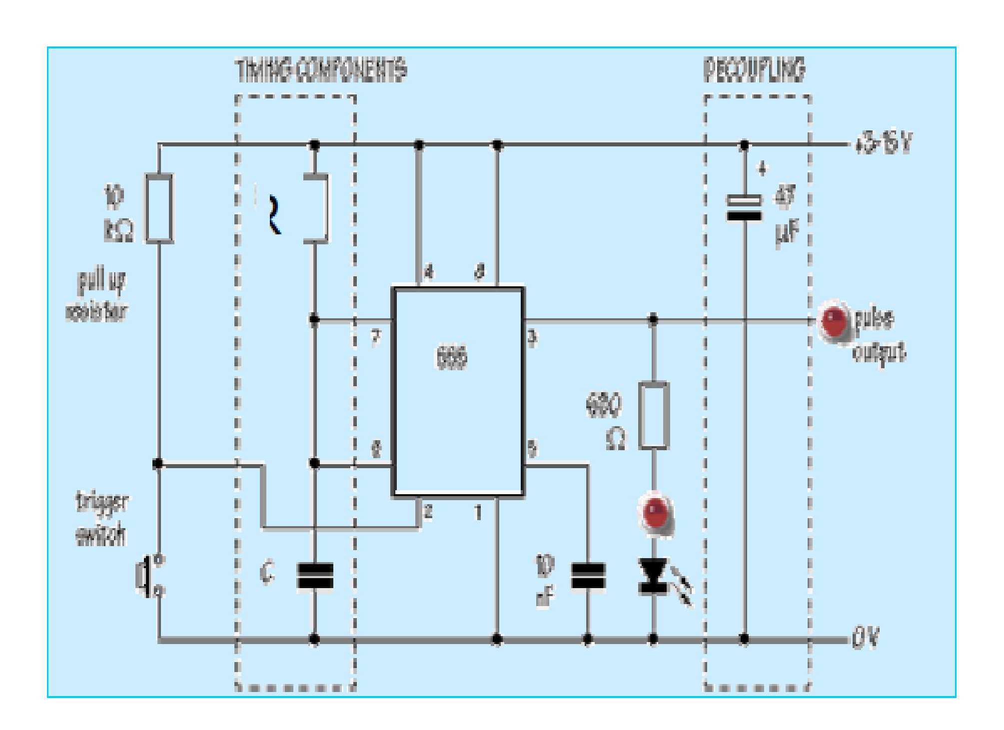
وسوف ندرس الآن توصيلة المؤقت 555 للعمل كمذبذب وحيد الاستقرار ومذبذب عديم الاستقرار.

طرق استخدام المؤقت 555:

يمكن تشغيل المؤقت 555 على نمطين الأول يسمى الوضع الوحيد الاستقرار (Monostable) والثاني يسمى الوضع عديم الاستقرار (Astable).

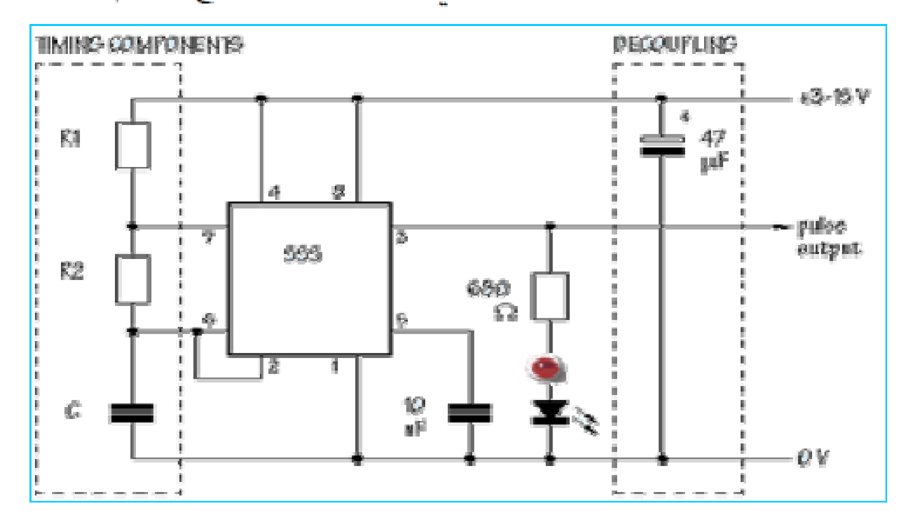
1. الوضع وحيد الاستقرار (Monostable):

عند توصيل المؤقت 555 كما في الشكل3-4 التالي يكون في الوضع الوحيد الاستقرار.



2.الوضع عديم الاستقرار (Astable):

عند ربط المؤقت 555 كما في الشكل3-7 التالي يكون في الوضع عديم الاستقرار.



الشكل مؤقت في وضع عديم الاستقرار وشكل إشارة جهد الخرج

لاحظ هنا أن الأطراف 2 و3 من الشريحة موصلة بطريقة تسمح للدائرة بإرسال نبضات إطلاق في كل دورة زمنية. ولذلك فإن هذه الدائرة تعمل كدائرة تذبذب أو اهتزاز. بمعنى أن الدائرة تنتج نبضاً يبقى لفترة زمنية ثم يختفي لمدة من الزمن ليعود النبض من جديد وهكذا.

يمكننا حساب الفترة الزمنية بين كل نبضتين عن طريق تردد هذه الدائرة (frequency) حيث إن المكثف C والمقاومتين R_1 وR_2 تؤثر تأثيراً مباشراً على التردد.

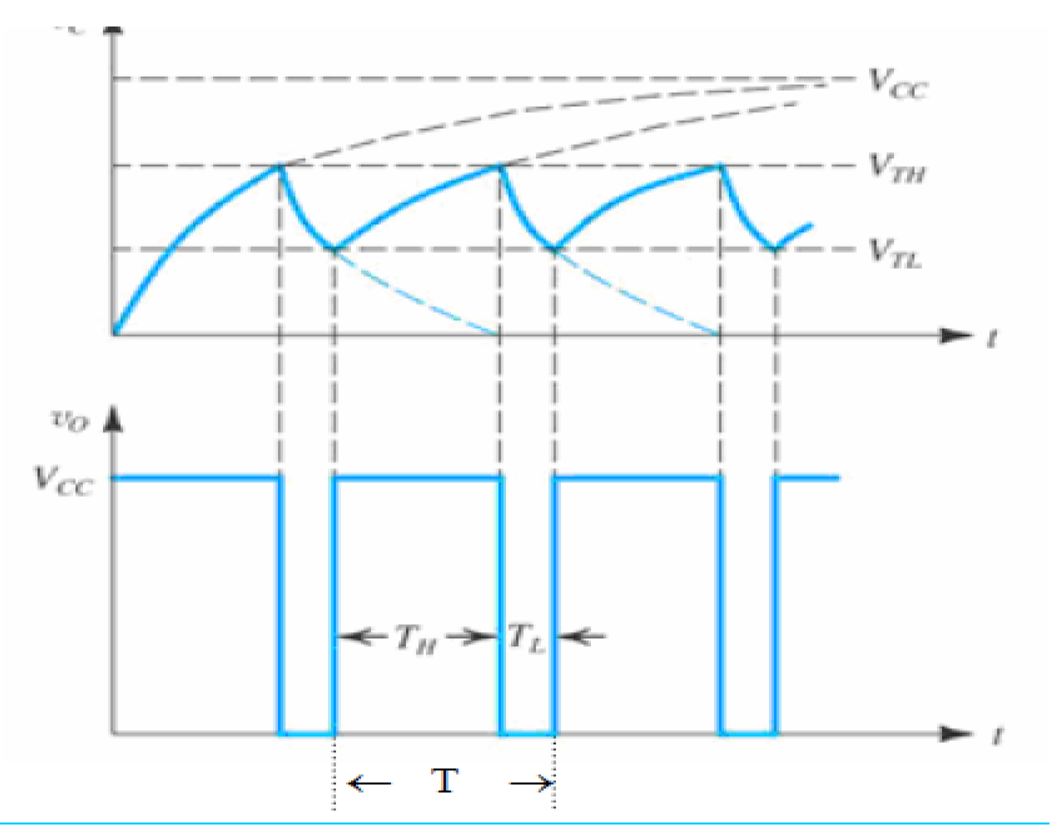
الشكل3-8أ يوضح شكل إشارة الجهد V_C على المكثف C.

يتم تشحين المكثف C طالما ازداد V_C حتى يتساوى مع V_{TH} (الطرف5) ويتم تفريغ المكثف C طالما تناقص V_C حتى يتساوى مع V_{TL} (المدخل الغير عاكس للمقارن A_2)

الشكل3-8ب يوضح شكل إشارة الخرج V_o على الطرف3.

عند تشحين المكثف يكون جهد الخرج في وضعية مرتفعة ($+V_{CC}$)

عند تفريغ المكثف يكون جهد الخرج في وضعية منخفضة (0)



الشكل الجهد V_C على المكثف وفي الخرج V_o

يمثل زمن الإيقاف. ويمكننا حساب الفترتين كما يلي:

$$T_H = 0.693(R_1 + R_2)C$$

$$T_L = 0.693R_2C$$

إشارة الخرج إشارة دورية. الدور الزمني T والتردد f يتعلقان بالعناصر الخارجية(R1,R2,C) ويمكننا حسابهما كما يلي:

$$T = T_H + T_L = 0.693(R_1 + 2R_2)C$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

نعرف النسبة المئوية لدورة التشغيل (Percent Duty Cycle)بالمعادلة التالية:

$$D = \left(\frac{T_1}{T_H + T_L}\right)100\% = \left(\frac{T_H}{T}\right)100\% = \frac{(R_1 + R_2)}{(R_1 + 2R_2)}100\%$$

فإذا قلنا مثلاً أن دورة التشغيل هي 75% فنقصد بذلك أن النبض الخارج من الشريحة يكون موجودا 75% من مجموع الفترة الزمنية.

مثال EXM

إذا استعملنا مكثفاً بسعة 0.68 μF وكانت المقاومة R_1 بقيمة 10MΩ والمقاومة R_2 بقيمة 1MΩ. احسب الكميات التالية المتعلقة بالإشارة الخارجة من الشريحة 555 :

الفترة الزمنية T ، الزمن T_H، الزمن T_L وأخيراً دورة التشغيل D.

$$T_H = 0.693(R_1 + R_2)C = 0.693(10M\Omega + 1M\Omega)0.68\mu F = 0.693(11M\Omega)0.68\mu F$$

$$= 0.693(11x10^6\Omega)(0.68x10^{-6}F) = 5.18s$$

$$T_L = 0.693R_2C = 0.693(1M\Omega)(0.68\mu F) = 0.693(10^6\Omega)(0.68x10^{-6}F) = 0.47s$$

$$T = T_H + T_L = 5.18s + 0.47s = 5.65s$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5.65s} = 0.176Hz$$

$$D = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} = \frac{T_1}{T} = \frac{5.18s}{5.65s} = 0.915 = 91.5\%$$

مثال (EXM(H.W

صمم دائرة مذبذب غير مستقر باستخدام الدائرة المتكاملة (555) للحصول على موجة اخراج كما موضحة بالشكل ادناه

